

**KAJIAN KENYAMANAN TERMAL RUANG GAMBAR
PAKET KEAHLIAN TEKNIK GAMBAR BANGUNAN
SMK NEGERI 2 PENGASIH**

TUGAS AKHIR SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta untuk
Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan



Oleh :
MUHAMMAD ROSYID RIDHO
NIM 10505241001

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2015**

HALAMAN PENGESAHAN
Tugas Akhir Skripsi

**KAJIAN KENYAMANAN TERMAL RUANG GAMBAR
PAKET KEAHLIAN TEKNIK GAMBAR BANGUNAN
SMK NEGERI 2 PENGASIH**

Disusun oleh:
Muhammad Rosyid Ridho
NIM 10505241001

Telah dipertahankan di depan Tim Pengaji Tugas Akhir Skripsi Program
Studi Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik
Universitas Negeri Yogyakarta pada tanggal 27 Maret 2015

TIM PENGUJI

Nama/Jabatan

Tanda Tangan

Tanggal

Dr. Ir. Bambang Sugestiyadi, MT.
Ketua Penguji/Pembimbing



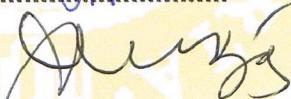
15/4-2015

Dr. Amat Jaedun, M.Pd.
Penguji Utama I



17/4-2015

Retna Hidayah, ST, MT, PhD.
Penguji Utama II



Yogyakarta, 27 Maret 2015



LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

KAJIAN KENYAMANAN TERMAL RUANG GAMBAR PAKET KEAHLIAN TEKNIK GAMBAR BANGUNAN SMK NEGERI 2 PENGASIH

Disusun oleh:

Muhammad Rosyid Ridho
NIM 10505241001

Telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk
dilaksanakan Ujian Tugas Akhir Skripsi bagi yang bersangkutan.

Yogyakarta, 9 Maret 2015

Mengetahui
Ketua Program Studi
Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan



Dr. Amat Jaedun, M.Pd.
NIP. 19610808 198601 1 001

Disetujui,
Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Bambang Sugestiyadi, MT.
NIP. 19530217 198601 1 001

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Rosyid Ridho

NIM : 10505241001

Program Studi : Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan

Judul TAS : Kajian Kenyamanan Termal Ruang Gambar Paket
Keahlian Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2

Pengasih

menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Yogyakarta, 8 April 2015

Yang menyatakan,

Muhammad Rosyid Ridho
NIM. 10505241001

MOTTO

- ❖ *Man Jadda Wajada “Barang siapa bersungguh - sungguh pasti akan mendapatkan hasil”.*
- ❖ *Tugas kita bukanlah untuk berhasil, tugas kita adalah untuk mencoba karena didalam mencoba itulah kita menemukan dan belajar membangun kesempatan untuk berhasil (Buya Hamka).*
- ❖ *Bebek berjalan berbondong-bondong, akan tetapi burung elang terbang sendirian (Ir. Soekarno)*
- ❖ *Apabila di dalam diri seseorang masih ada rasa malu dan takut untuk berbuat suatu kebaikan, maka jaminan bagi orang tersebut adalah tidak akan bertemu ia dengan kemajuan selangkahpun (Ir. Soekarno)*
- ❖ *Untuk berhasil kita perlu dua hal, yaitu Usaha dan Doa.*
- ❖ *Tujuan utama orang hidup dan pendaki gunung itu sama, yaitu kembali dengan selamat.*

❖ HALAMAN PERSEMBAHAN

Sebuah karya kecil ini saya persembahkan kepada:

- Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya sehingga Tugas Akhir Skripsi ini bisa selesai.
- Ibu, Ibu, Ibu dan Bapak, atas semua dukungan dan doa, pengorbanannya, sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan dengan lancar.
- Bapak Dr. Ir. Bambang Sugestiyadi, MT., terimakasih atas semua bimbingan, saran, pengetahuan dan motivasinya kepada penulis.
- Teman–teman KLAZA (kelas A Angkatan 2010), terimakasih atas segala bantuan selama proses perkuliahan berlangsung dan saat penyusunan Tugas Akhir Skripsi.
- Teman–teman pengurus HMTSP FT UNY periode 2011, 2012, terimakasih atas pengalaman luar biasa selama berorganisasi di kampus tercinta.
- Teman–teman pengurus IAS UNY periode 2013/2014 sisil, munajat, yusup, syaifudin, mas saiful, dayat, apri, hasbi, putra, danur, abim, terimakasih sudah memberikan semangat untuk menyelesaikan Skripsi tepat waktu.
- Eusabia Floreza Waybin dan Yoana Marselia Waybin yang sudah membantu dalam proses penyusunan skripsi, sekaligus membantu dalam persiapan ujian pendadaran.
- Bangsa dan Almamater UNY.

**KAJIAN KENYAMANAN TERMAL RUANG GAMBAR
PAKET KEAHLIAN TEKNIK GAMBAR BANGUNAN
SMK NEGERI 2 PENGASIH**

Oleh:

Muhammad Rosyid Ridho
10505241001

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kenyamanan termal ruang gambar Paket Keahlian Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih menggunakan persamaan PMV.

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif evaluatif dengan pendekatan kuantitatif. Objek penelitiannya adalah besaran indeks kenyamanan termal menggunakan persamaan PMV dan ruang yang dijadikan tempat penelitian adalah ruang gambar Paket Keahlian teknik Gambar Bangunan SMK N 2 Pengasih Kulon Progo. Data penelitian dikumpulkan melalui observasi, pengukuran dan dokumentasi. Analisis data dilakukan menggunakan analisis kuantitatif dan dihitung dengan rumus persamaan PMV.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa: (1) Luas bukaan ventilasi di ruang gambar Paket Keahlian Teknik gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih memenuhi standar, (2) Indeks kenyamanan termal PMV rata-rata ruang gambar Paket Keahlian Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih keadaan jendela terbuka seluruhnya yang masuk dalam zona nyaman hanya pukul 07.00 dengan indeks PMV 0,18, sedangkan pukul 08.00, 09.00, 10.00, 11.00, 12.00, 13.00, 14.00 indeks PMV sudah keluar dari zona nyaman. Indeks kenyamanan termal PMV rata-rata ruang gambar Paket Keahlian Teknik Gambar bangunan SMK Negeri 2 Pengasih keadaan jendela tertutup seluruhnya yang masuk dalam zona nyaman hanya pukul 07.00 dengan indeks PMV 0,48, sedangkan pukul 08.00, 09.00, 10.00, 11.00, 12.00, 13.00, 14.00 indeks PMV sudah keluar dari zona nyaman, (3) Perbedaan jendela terbuka seluruhnya dengan jendela tertutup seluruhnya terhadap kualitas termal untuk temperatur udara adalah $0,36^{\circ}\text{C}$, untuk kecepatan angin adalah 0,04 m/s, untuk kelembaban udara adalah 0,54 %, (4) Berdasarkan faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal baik dari luar ruangan maupun luar ruangan melalui konfigurasi perletakan bangunan terhadap pergerakan angin, elemen penutup tanah, elemen vegetasi yang ditanam di sekitar bangunan, dan perletakan ventilasi sudah memenuhi kriteria, namun indeks kenyamanan termal PMV pukul 08.00 sampai 14.00 masih diluar zona nyamanan PMV. Untuk mengkondisikan ruangan agar nyaman diperlukan pergerakan udara menggunakan kipas angin.

Kata kunci: Kenyamanan Termal, PMV, Ruang Gambar.

KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT, Tuhan semesta alam. Atas segala rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi dalam rangka untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Pendidikan dengan judul “Kajian Kenyamanan Termal Ruang Gambar Paket Keahlian Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih”. Sholawat dan salam semoga tetap tercurahkan kepada nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, dan umat yang senantiasa mengikutinya.

Penulis menyadari, Tugas Akhir Skripsi ini dapat diselesaikan tidak lepas dari bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Berkennaan dengan hal tersebut, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Dr. Ir. Bambang Sugestiyadi, MT.; selaku dosen Pembimbing TAS, yang telah banyak memberikan semangat, dorongan, bimbingan dan pengetahuan selama penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini.
2. Bapak Nanang Mardiyanto S.Pd.; selaku Kabeng Teknik Gambar Bangunan, yang telah membantu banyak dalam pengambilan data selama proses penelitian Tugas Akhir Skripsi ini.
3. Bapak Drs. Agus Santoso, M.Pd. dan Bapak Dr. Amat Jaedun, M.Pd.; selaku Ketua Jurusan dan Ketua Paket Keahlian Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan berserta dosen dan staf yang telah memberikan bantuan dan fasilitas selama proses penyusunan pra proposal sampai dengan selesainya TAS ini.

4. Bapak Dr. Moch. Bruri Triyono, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta, yang telah memberikan persetujuan pelaksanaan Tugas Akhir Skripsi.
5. Bapak H. A. Manap, MT.; Dosen Penasehat Akademik yang banyak memberikan arahan, semangat, dan motivasi kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan.
6. Para Guru Teknik Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih yang telah memberi bantuan memperlancar pengambilan data selama proses penelitian Tugas Akhir Skripsi ini.
7. Ibu dan Bapak tercinta atas do'a, bantuan kritik dan saran, serta curahan kasih sayang, perhatian, dan segala pengorbanan yang telah diberikan kepada anaknya.
8. Teman-teman seperjuangan Program Studi Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan kelas A serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi ini.

Akhirnya, semoga segala bantuan yang telah diberikan semua pihak di atas menjadi amalan yang bermanfaat dan mendapatkan balasan dari Allah SWT dan Tugas Akhir Skripsi ini menjadi informasi bermanfaat bagi pembaca atau pihak lain yang membutuhkannya.

Yogyakarta, 9 Maret 2015

Penulis,

Muhammad Rosyid Ridho
NIM. 10505241001

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
SURAT PERNYATAAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBERAHAN	vii
ABSTRAK	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Batasan Masalah	5
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	8
A. Kajian Teori	8
1. Prinsip dalam Proses Belajar Mengajar	8
2. Ventilasi	10
3. Ventilasi Alami	12
4. Standar Ventilasi Alami	13
5. Kenyamanan	14
6. Kenyamanan Termal	14
7. Rekayasa Kenyamanan Termal	14
8. Indeks Kenyamanan Termal PMV	29
a. Temperatur Udara	31

b.	Temperatur Radiasi	32
c.	Kecepatan Angin	32
d.	Kelembaban Udara	33
e.	Aktivitas Manusia	34
f.	Pakaian	35
B.	Kerangka Berfikir	39
C.	Pertanyaan Penelitian.....	40
BAB III METODE PENELITIAN		41
A.	Tempat dan Waktu Penelitian	41
B.	Jenis Penelitian	41
C.	Lokasi dan Objek Penelitian	42
D.	Sumber Data	42
E.	Teknik Pengumpulan Data	42
	1. Observasi	43
	2. Pengukuran	43
	3. Dokumentasi	44
F.	Instrumen Penelitian	45
	1. Temperatur Udara	45
	2. Temperatur Radiasi	46
	3. Kecepatan Angin	47
	4. Aktivitas	48
	5. Pakaian	48
G.	Teknik Analisis Data	50
H.	Alur Penelitian	53
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		54
A.	Deskripsi Data	54
	1. Analisa Situasi	54
	2. Site Plan SMK Negeri 2 Pengasih	55
	3. Kondisi Lingkungan	56
	4. Titik Pengukuran	57
B.	Hasil Observasi	58
	1. Kofigurasi Ruang	58
	2. Penutup Tanah	58
	3. Vegetasi	59

4. Bukaan Ventilasi	60
C. Hasil Pengukuran	63
1. Ventilasi	64
2. Pengukuran Ruang dalam Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya	65
a. Temperatur Udara.....	65
b. Kecepatan Angin	66
c. Kelembaban Udara.....	68
3. Pengukuran Ruang dalam Keadaan Jendela Tertutup Seluruhnya	69
a. Temperatur Udara.....	69
b. Kecepatan Angin	71
c. Kelembaban Udara.....	72
3. Insulasi Pakaian	74
4. Nilai Metabolisme	75
D. Pembahasan	76
1. Ventilasi	76
2. Indeks Kenyamanan Termal PMV dalam Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya	78
3. Indeks Kenyamanan Termal PMV dalam Keadaan Jendela Tertutup Seluruhnya	80
4. Perbedaan Jendela Terbuka Seluruhnya dengan Jendela Tertutup Seluruhnya terhadap Kualitas Termal	84
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	86
A. Kesimpulan	86
B. Keterbatasan Penelitian	87
C. Saran	87
DAFTAR PUSTAKA	88
LAMPIRAN	90

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.	Material dan Reflektivitasnya.....
Tabel 2.	Rasio Peningkatan Dimensi Bukaan.....
Tabel 3.	Hubungan Antara PMV, PPD, dan Sensasi Termal
Tabel 4.	Aktivitas dan Nilai Metabolisme
Tabel 5.	Pakaian dan <i>Clothing Value</i>
Table 6.	Metode Pengukuran
Table 7.	Spesifikasi Ketepatan <i>Thermo-Hygrometer Digital</i>
Table 8.	Spesifikasi Ketepatan Ketepatan <i>Anemometer Digital</i>
Tabel 9.	Aktivitas dan Nilai Metabolisme
Tabel 10.	Pakaian dan <i>Clothing Value</i>
Table 11.	Rata-Rata Hasil Pengukuran Temperatur Udara Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya
Table 12.	Rata-Rata Hasil Pengukuran Kecepatan Angin Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya
Tabel 13.	Rata-Rata Hasil Pengukuran Kelembaban Udara Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya
Table 14.	Rata-Rata Hasil Pengukuran Temperatur Udara Keadaan Jendela Tertutup Seluruhnya
Table 15.	Rata-Rata Hasil Pengukuran Kecepatan Angin Keadaan Jendela Tertutup Seluruhnya
Tabel 16.	Rata-Rata Hasil Pengukuran Kelembaban Udara Keadaan Jendela Tertutup Seluruhnya.....
Tabel 17.	Nilai Insulasi Pakaian Siswa.....
Tabel 18.	Nilai Rata-rata PMV Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya
Tabel 19.	Nilai Rata-rata PMV Keadaan Jendela Tertutup Seluruhnya
Tabel 20.	Rata-Rata Temperatur Udara Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya dengan Jendela Tertutup Seluruhnya.....
Tabel 21.	Rata-Rata Kecepatan Angin Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya dengan Jendela Tertutup Seluruhnya.....
Tabel 22.	Rata-Rata Kelembaban Udara Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya dengan Jendela Tertutup Seluruhnya.....

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.	Komponen-Komponen pada Proses Belajar Mengajar 9
Gambar 2.	Proses Perolehan Panas dan Pembuangan Panas 17
Gambar 3.	Keseimbangan Panas dalam Tubuh Manusia 19
Gambar 4.	Pola bangunan papan catur 21
Gambar 5.	Pola Bangunan Yang Grid..... 21
Gambar 6.	Gerakan Udara Antara Barisan Rumah Yang Rapat Dan Sejajar..... 22
Gambar 7.	Permukaan Tanah Akan Menentukan Perolehan Panas Ruang Atau Bangunan..... 22
Gambar 8.	Peneduhan Dengan Vegetasi Yang Tepat Pada Posisi yang Tepat..... 24
Gambar 9.	Jarak Pohon Terhadap Bangunan dan Pengaruhnya Terhadap Ventilasi Alami 25
Gambar 10.	Ventilasi Silang (Gambar Bawah) Lebih Efektif 26
Gambar 11.	Posisi Inlet dan Outlet Berpengaruh Terhadap Arah Angin Di Dalam Ruangan/ Bangunan..... 27
Gambar 12.	Perbedaan Dimensi Inlet dan Outlet Mempengaruhi Kecepatan Angin Pada Bangunan 27
Gambar 13.	Desain Bukaan..... 28
Gambar 14.	Perbedaan Antara Bukaan Udara Menggunakan Kanopi dan Tidak Menggunakan Kanopi..... 29
Gambar 15.	Zona Nyaman Termal Menurut PMV Fanger 31
Gambar 16.	Prosedur Pengumpulan Data 43
Gambar 17.	Titik pengukuran dalam ruangan 44
Gambar 18.	<i>Thermo-Hygrometer digital</i> 46
Gambar 19.	<i>Anemometer Digital</i> 47
Gambar 20.	Contoh perhitungan nilai insulasi pakaian 50
Gambar 21.	Skema Alur Penelitian 53
Gambar 22.	Site Plan SMK Negeri 2 Pengasih 55

Gambar 23.	Kondisi Lingkungan Ruang Gambar	56
Gambar 24.	Denah Pengukuran dalam Ruang	57
Gambar 25.	Kondisi Ruang Gambar	58
Gambar 26.	Bagian Depan Ruang Gambar	59
Gambar 27.	Bagian Belakang Ruang Gambar	59
Gambar 28.	Denah Penempatan Jendela	60
Gambar 29.	Detail Jendela 1 (J1)	61
Gambar 30.	Detail Jendela 2 (J2)	61
Gambar 31.	Denah Penempatan Ventilasi	61
Gambar 32.	Detail Ventilasi (V)	62
Gambar 33.	Aliran Angin dalam Ruang	62
Gambar 34.	Tipe Bukaan Menggunakan Casement Top Hung	63
Gambar 35.	Diagram Rata-rata Temperatur Udara Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya.....	66
Gambar 36.	Diagram Rata-Rata Kecepatan Angin Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya.....	67
Gambar 37.	Diagram Rata-Rata Kelembaban Udara Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya.....	69
Gambar 38.	Diagram Rata-rata Temperatur Udara Keadaan Jendela Tertutup Seluruhnya.....	70
Gambar 39.	Diagram Rata-Rata Kecepatan Angin Keadaan Jendela Tertutup Seluruhnya.....	72
Gambar 40.	Diagram Rata-Rata Kelembaban Udara Keadaan Jendela Tertutup Seluruhnya.....	73
Gambar 41.	Pakaian yang Digunakan Siswa	74
Gambar 42.	Aktivitas Siwa di Ruang Gambar	75
Gambar 43.	Diagram Rata-rata PMV Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya.....	80
Gambar 44.	Diagram Rata-rata PMV Keadaan Jendela Tertutup Seluruhnya.....	82
Gambar 45.	Diagram Perbandingan PMV Jendela Terbuka dengan Tertutup	83

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Surat–surat Ijin Penelitian	91
Lampiran 2. Data Pengukuran	94

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) adalah sekolah yang menyiapkan tenaga kerja dengan kepribadian diri yang arif, budipekerti yang baik, mandiri, profesionalitas, sehingga menjadi tenaga kerja yang terampil dan mengutamakan kemampuan untuk melaksanakan pekerjaan tertentu sesuai bidang keahlian, sehingga mampu menjadi prioritas kebutuhan dunia kerja. Hal ini sesuai dengan tujuan khusus yang ada dalam kurikulum SMK edisi 2006 (www.pusdiknakes.or.id) menyebutkan bahwa, SMK bertujuan salah satunya untuk menyiapkan peserta didik agar menjadi manusia produktif, mampu bekerja mandiri, mengisi lowongan pekerjaan yang ada di dunia usaha dan dunia industri sebagai tenaga kerja tingkat menengah sesuai dengan kompetensi dalam Program Studi yang dipilihnya.

Demi mendukung tercapainya tujuan dari Sekolah Menengah Kejuruan, maka harus diciptakan lingkungan belajar yang efektif di sekolah. Lingkungan belajar yang efektif adalah sebuah lingkungan belajar yang produktif, dimana sebuah lingkungan belajar yang didesain atau dibangun untuk membantu pelajar meningkatkan produktifitas belajar mereka, sehingga proses belajar mengajar tercapai sesuai dengan yang diharapkan. Pengorganisasian lingkungan belajar yang kondusif dan efektif merupakan keharusan bagi terbangunnya lingkungan belajar, diharapkan didalam lingkungan belajar siswa dapat tercipta rasa nyaman belajar.

SMK Negeri 2 Pengasih merupakan salah satu sekolah kejuruan negeri di Yogyakarta yang memiliki program Studi Teknik Gambar Bangunan. Proses belajar mengajar pada sekolah ini terdiri dari sekitar 30% teori dan 70% praktik (Depdikbud Jakarta, 1995:xvi). Hal tersebut membuat kebutuhan akan sarana dan prasarana menjadi sangat tinggi. Pengadaan sarana praktik yang memenuhi kriteria pemakaian merupakan suatu masalah besar, dikarenakan hal ini dapat berpengaruh terhadap keefektifan proses pembelajaran dalam mencetak siswa yang memiliki kompetensi yang memadai untuk memasuki dunia industri.

Budiono (2012) menyatakan bahwa untuk mencapai pembelajaran yang efektif dibutuhkan suatu kenyamanan interaksi belajar, karena hal ini dapat menimbulkan minat dan perhatian dari siswa untuk mempermudah guru dalam penyampaian materi pembelajaran. Kenyamanan tersebut sangat ditentukan oleh keadaan di lingkungan sekitar kegiatan tersebut dilaksanakan, baik ditinjau dari aspek kecukupan luas ruang untuk kegiatan siswa dan tenaga pengajar (aspek *antropometri*), maupun kecukupan prasarana penunjangnya yang mencakup: penerangan, suhu dan kelembaban, serta kebisingan suatu ruang.

Satwiko (2009: 21) menyatakan kenyamanan dan perasaan nyaman adalah penilaian komprehensif seseorang terhadap lingkungannya. Kenyamanan tidak dapat diwakili oleh angka tunggal. Kenyamanan termal dalam suatu lingkungan dapat mempengaruhi perasaan manusia sehingga dapat menimbulkan suatu perasaan nyaman ataupun tidak nyaman. Kenyamanan dan ketidaknyamanan tidak dapat diukur dengan satuan angka.

Basaria (2005) merumuskan suhu nyaman menurut tata cara perencanaan teknis konservasi energi pada bangunan, kondisi sejuk nyaman suhu berkisar $20,5^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $22,8^{\circ}\text{C}$, untuk nyaman optimal berkisar

22,8°C sampai dengan 25,8°C, sedangkan untuk hangat nyaman berkisar 25,8°C sampai dengan 27,1°C. Kenyamanan termal suatu ruangan yang berada diluar batas normal akan menimbulkan perasaan tidak nyaman, baik ketidaknyamanan fisik maupun mental seseorang, sehingga dapat memunculkan berbagai persepsi dan perilaku negatif.

Berdasarkan pengamatan di SMK Negeri 2 Pengasih Program Studi Teknik Gambar Bangunan, beberapa fasilitas belajar khususnya pembelajaran praktik yang disediakan untuk mendukung ketercapaian tujuan adalah adanya laboratorium Auto CAD, dan ruang gambar. Kajian ini lebih menitik beratkan pada ruang gambar, dalam hal ini ruang gambar 2 dikarenakan menurut pengamatan ruang gambar 2 SMK Negeri 2 pengasih Program Studi Teknik Gambar Bangunan terasa sesak oleh perabot dan pencahayaan ruang yang tidak merata mengakibatkan satu sisi ruang ada yang terlalu terang dan sisi lainnya kurang terang.

Selain kondisi ruangan yang demikian, ruang gambar Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih mengalami perubahan kondisi termal ketika jam-jam tertentu pada bagian dalam ruang. Perubahan yang terjadi antara lain suhu di dalam ruangan meningkat. Hal ini kemungkinan akan mempengaruhi kondisi fisik dan mental siswa di dalam ruangan tersebut sehingga memungkinkan proses belajar siswa menjadi terganggu.

Peneliti melihat terdapat fenomena pada permasalahan arsitektur yang terjadi pada kenyamanan termal ruang gambar SMK Negeri 2 Pengasih Program Studi Teknik Gambar Bangunan, salah satunya adalah penempatan jendela sebagai bukaan ventilasi. Jumlah ventilasi di dalam ruang dirasa terlalu sedikit

dan penempatan jendela sebagai ventilasi dirasa kurang karena jendela hanya terdapat di satu sisi ruangan saja.

Permasalahan diatas menjadi dasar bagi peneliti untuk mengadakan evaluasi standar tentang "Kajian Kenyamanan Termal Ruang Gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan di SMK Negeri 2 Pengasih". Diharapkan melalui kajian ini akan dapat diketahui hal-hal yang dapat menghambat, mengganggu atau merugikan proses *transfer* ilmu pengetahuan khususnya di lingkungan ruang gambar SMK Negeri 2 Pengasih dalam bidang sarana dan prasarana, untuk selanjutnya dijadikan pedoman dalam upaya perbaikan, peningkatan ataupun pengembangan di kemudian hari.

B. Identifikasi Masalah

Beberapa masalah yang dapat diidentifikasi terkait dengan kondisi ruang gambar di SMK Negeri 2 Pengasih adalah:

1. Luasan ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan di SMK Negeri 2 Pengasih belum sesuai dengan ukuran standar manusia penggunanya.
2. Pencahayaan di ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan di SMK Negeri 2 Pengasih belum sesuai dengan standar iluminasi.
3. Suhu di ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan di SMK Negeri 2 Pengasih belum sesuai dengan standar kenyamanan termal.
4. Kondisi ventilasi di ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan di SMK Negeri 2 Pengasih belum sesuai dengan standar penghawaan ruangan.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi yang telah dipaparkan di atas, peneliti membatasi masalah yang dikaji, yaitu:

1. Luas bukaan pada sistem ventilasi ruang gambar Paket Keahlian Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih ditinjau dari SNI 03-6572-2001
2. Perbedaan indeks kenyamanan termal PMV antara jendela terbuka seluruhnya dengan jendela tertutup seluruhnya di ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan SMK N 2 Pengasih.
3. Perbedaan jendela terbuka seluruhnya dengan jendela tertutup seluruhnya terhadap kualitas termal ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan SMK N 2 Pengasih.

D. Rumusan Masalah

Dari pembatasan masalah di atas, dapat dirumuskan pernyataan permasalahan pada kajian sebagai berikut:

1. Bagaimana luas bukaan pada sistem ventilasi ruang gambar Paket Keahlian Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih ditinjau dari SNI 03-6572-2001?
2. Bagaimana perbedaan indeks kenyamanan termal PMV antara jendela terbuka seluruhnya dengan jendela tertutup seluruhnya di ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan SMK N 2 Pengasih?
3. Bagaimana perbedaan antara jendela terbuka seluruhnya dengan jendela tertutup seluruhnya terhadap kualitas termal ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan SMK N 2 Pengasih?

E. Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan diantaranya:

1. Untuk mengetahui luas bukaan pada sistem ventilasi ruang gambar Paket Keahlian Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih ditinjau dari SNI 03-6572-2001?
2. Untuk mengetahui perbedaan indeks kenyamanan termal PMV antara jendela terbuka seluruhnya dengan jendela tertutup seluruhnya di ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan SMK N 2 Pengasih.
3. Untuk mengetahui perbedaan antara jendela terbuka seluruhnya dengan jendela tertutup seluruhnya terhadap kualitas termal ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan SMK N 2 Pengasih.

F. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini, peneliti mengharapkan sesuatu yang dapat dimanfaatkan tidak hanya untuk satu pihak, namun juga beberapa pihak yang terkait yaitu sekolah, pembaca, dan peneliti selanjutnya.

1. Manfaat Teoritis

Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan literatur yang memperkaya khasanah ilmu pengetahuan maupun kajian pustaka, serta penelitian lebih lanjut yang berhubungan dengan kependidikan.

2. Manfaat Praktis

a. Bagi SMK Negeri 2 Pengasih

Manfaat dari hasil penelitian ini adalah sebagai informasi dan masukan mengenai standarisasi kenyamanan ruang khususnya ruang gambar, sehingga dapat diketahui hal yang perlu disiapkan dan diperbaiki

untuk meningkatkan keefektifan proses belajar mengajar siswa SMK Negeri 2 Pengasih.

b. Bagi Universitas Negeri Yogyakarta

Penelitian ini merupakan perwujudan Tri Dharma Perguruan Tinggi khususnya bidang penelitian yang hasil penelitian ini digunakan perguruan tinggi sebagai persembahan kepada masyarakat.

c. Bagi mahasiswa

Diharapkan dapat menambah wawasan dan sebagai wahana dalam melatih kemampuan menulis karya tulis ilmiah, disamping itu diharapkan dapat membangkitkan minat mahasiswa lain untuk mengadakan penelitian lebih lanjut dalam bidang pendidikan.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

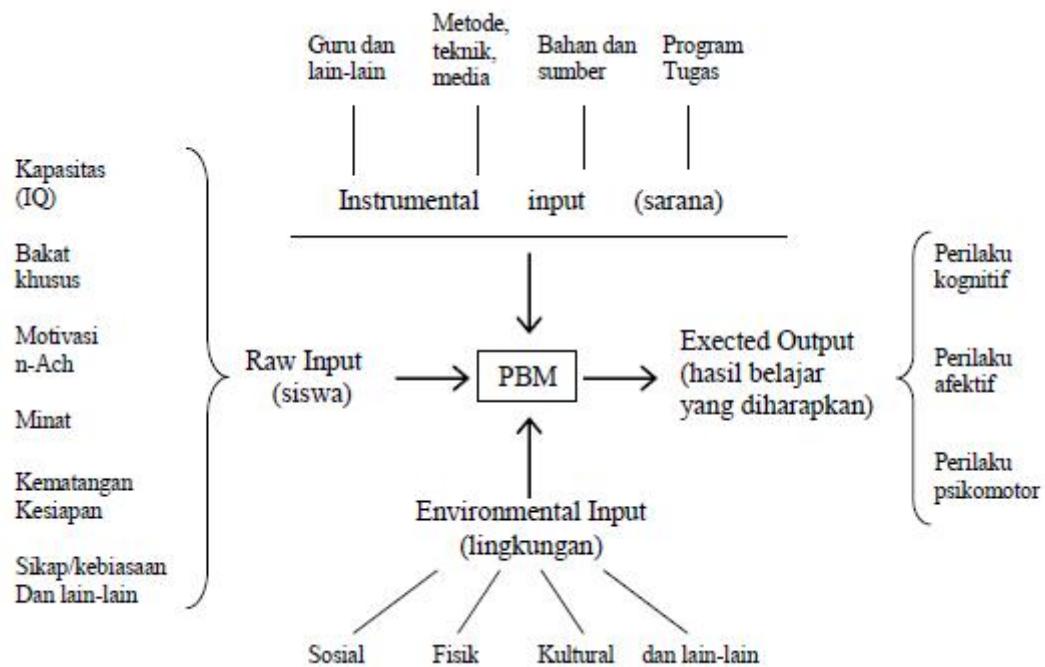
1. Prinsip dalam Proses Belajar Mengajar

Danim, dkk (2010:93) menyatakan bahwa belajar merupakan sebuah proses menciptakan nilai tambah berupa kognitif, afektif, dan psikomotor yang tercermin dari perubahan perilaku siswa menuju kedewasaan. Sementara menurut Mulyasa, (2006:189) belajar pada hakikatnya merupakan usaha sadar yang dilakukan individu memenuhi kebutuhannya setiap kegiatan belajar yang dilakukan peserta didik akan menghasilkan perubahan-perubahan dalam dirinya yang dikelompokkan dalam kawasan kognitif, afektif, dan psikomotor. Selanjutnya dalam kamus pedagogik yang ditulis oleh Ahmadi (2005:280) dikatakan bahwa belajar adalah berusaha memiliki pengetahuan atau kecakapan. Ditambah lagi pendapat Whitaker, (2003:99) yang menyatakan bahwa *Learning may be define as the process by which behavior originates or is altered through training or experience*, dimana belajar didefinisikan sebagai proses tingkah laku yang ditimbulkan atau dirubah melalui latihan dan pengalaman.

Berdasarkan beberapa definisi di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa belajar merupakan usaha sadar untuk mencapai kebutuhan manusia melalui proses perubahan dalam dirinya, baik bersifat kognitif, afektif, maupun psikomotor.

Proses belajar dapat dibagi ke dalam dua fase, yaitu persiapan dan proses belajar. Fase persiapan belajar merupakan fase yang ditempuh sebelum belajar. Fase ini merupakan landasan utama bagi pembentukan cara belajar yang baik, dimana dapat terlihat dari sikap mental yang baik, yaitu sikap mental yang ditumbuhkan dan diperkirakan dengan sebaik mungkin agar siswa mempunyai kesadaran berupa kesediaan mental. Sikap mental yang diperlukan siswa dalam rangka persiapan belajar yaitu tujuan belajar, minat terhadap pelajaran, kepercayaan pada diri sendiri, dan keuletan. Fase proses belajar

sangat menentukan seorang siswa dapat berhasil ataupun tidak selama di sekolah. Pada fase ini siswa dituntut untuk menerapkan cara-cara belajar sebaik mungkin. Pedoman dalam belajar perlu dibuat untuk menjadi petunjuk dalam melakukan proses pembelajaran.



Gambar 1. Komponen-Komponen pada Proses Belajar Mengajar
(Sumber: Maknum, 2013)

Supaya dapat menjalani proses belajar dengan baik, kunci utama yang harus dipegang adalah konsentrasi selama kegiatan tersebut berlangsung. Dalam Kamus Besar Indonesia konsentrasi merupakan kemampuan untuk memusatkan pikiran terhadap aktivitas yang sedang dilakukan. Sedangkan Ahmadi, (2003) menyatakan bahwa konsentrasi belajar adalah kemampuan untuk memusatkan pikiran terhadap aktivitas belajar. Konsentrasi juga merupakan suatu perhatian searah terhadap suatu hal, dan biasanya berkaitan dengan konsentrasi terhadap apa yang saat ini dihadapi atau dijalani.

Konsentrasi belajar seorang siswa menurut Abin (2003) dapat diamati dari beberapa indikator sebagai berikut:

- a. Fokus pandangan yang tertuju pada guru/instruktur, papan tulis/alat peraga, atau ke arah lain.
- b. Konsentrasi perhatian yang dapat dilihat dari memperhatikan sumber informasi dengan seksama ataupun memperhatikan hal yang lain.
- c. Memberikan sambutan lisan dengan mengajukan pertanyaan untuk mencari informasi tambahan.
- d. Menyanggah/membandingkan dengan memberikan alasan ataupun tanpa alasan.
- e. Menjawab dengan positif (sesuai dengan masalah), negatif (menyimpang dari masalah), ataupun ragu-ragu (tidak menentu).

Konsentrasi belajar dipengaruhi oleh beberapa faktor, baik faktor internal maupun eksternal.

(Mulyasa 2006:190) faktor internal yang mempengaruhi konsentrasi belajar siswa adalah faktor fisiologis yang menyangkut keadaan jasmani atau fisik individu serta faktor psikologis yang berasal dari dalam diri, seperti intelegensi, minat, sikap, dan motivasi. Sedangkan untuk faktor eksternal dapat digolongkan ke dalam dua faktor pula, yaitu faktor sosial yang menyangkut hubungan antar manusia yang terjadi dalam berbagai situasi sosial, serta faktor non sosial yang terdiri dari lingkungan alam dan fisik, seperti ruang belajar, fasilitas belajar, buku-buku sumber, dan sebagainya. Melihat penjelasan di atas, pemberdayaan dan penataan lingkungan di sekitar ruang belajar sangat perlu diperhatikan.

2. Ventilasi

Ventilasi menurut KBBI(Kamus Besar Bahasa Indonesia) diartikan sebagai lubang atau tempat udara dapat keluar masuk secara bebas, sedangkan menurut (Melaragno, 1982) ventilasi adalah angin yang bergerak melewati ruang terbuka/ bagian interior bangunan. Dari kedua pengertian tersebut didapatkan kesimpulan bahwa ventilasi merupakan lubang pada interior bangunan yang berfungsi sebagai keluar masuk udara secara bebas.

Di dalam daerah yang beriklim tropis seperti daerah Yogyakarta, tiupan angin diperlukan untuk mempercepat proses penguapan kulit agar

ketidaknyamanan oleh keletikan kulit dapat dikurangkan. Tiupan angin juga diperlukan untuk pergantian udara yang baik dalam ruangan sehingga penghuni dapat menghirup udara yang baik untuk kesehatan. Dengan demikian bangunan harus menghadirkan Luas Bukaan Ventilasi yang mampumengalirkan udara kedalam bangunan, sehingga bisa memenuhi persyaratan kesehatan bagi penghuni bangunan. Sebelum membahas tentang standar- standar Luas Bukaan, perlu dipahami telebih dahulu tentang fungsi buaan dalam bangunan :

- a. Untuk memenuhi persyaratan kesehatan.

Keperluan dasar ini perlu dipatuhi tanpa pengecualian. Secara mudah persyaratan ini bermaksud untuk memberikan oksigen yang cukup untuk pernafasan dalam bangunan, serta untuk mencegah kenaikan kadar kandungan karbondioksida dan bau dalam ruangan. Contoh : sebuah ruang pada rumah tinggal harus memiliki ventilasi tidak kurang dari 5% dari luas lantai ruangan, syarat-syarat minimum dalam SNI 03-6572-2001 seperti inilah untuk memenuhi fungsi buaan untuk kesehatan. Oleh sebab itu, apabila persyaratan tersebut tidak terpenuhi, maka dampak-dampak negatif yang mengancam kesehatan seperti sesak nafas, rasa penggap dan bau dalam ruangan yang tidak diingini senantiasa mengganggu hidung akan dialami oleh penghuninya. Suasana tidak nyaman ini kerapkali berlaku pada waktu malam atau hujan apabila penghuni menutup semua jendela dan tidak terdapat buaan permanen pada dinding atau atap bangunan.

- b. Untuk menghasilkan kenyamanan termal.

Kandungan kelembaban udara dan panas matahari yang senantiasa tinggi menyebabkan kulit kita senantiasa terasa lekit dan tidak nyaman. fenomena iklim panas lembab ini hanya boleh diredukan dengan meniupkan angin untuk

mempercepat proses penguapan pada kulit dengan menghadirkan bukaan-bukaan pada bangunan yang memenuhi syarat standar buaan bangunan untuk daerah iklim tropis. dalam hal menyediakan keadaan termal yang nyaman, yaitu mencegah ketidaknyamanan yang disebabkan oleh kepanasan dan kelebihan kulit, diperlukan kecepatan aliran udara dan kadar udara yang cukup dalam ruangan, yang dipengaruhi oleh geometri ruang dan luas buaan. Sebagaimana menurut (Soegijanto, 1999) kebutuhan kenyamanan termal meliputi pemindahan panas keluar ruang, membantu penguapan keringat, dan pendinginan struktur bangunan.

c. Untuk pendinginan ruang.

Dengan menghadirkan ventilasi pada ruangan, diharapkan bahwa udara segar dan bersuhu lebih rendah dari pada suhu dalam ruang dapat menghambat naiknya suhu udara dalam ruang.

3. Ventilasi alami

Ventilasi alami adalah proses pergantian udara ruangan oleh udara segar dari luar ruangan tanpa melibatkan peralatan mekanis. Ventilasi alami bertujuan menyediakan udara segar ke dalam ruangan demi kesehatan penghuninya karena dapat mengurangi kadar polusi dalam udara, membantu menciptakan kenyamanan termal bagi penghuni, membantu pendinginan bangunan secara pasif, dan menghemat energi yang terpakai pada bangunan.

Satwiko (2004) menyatakan bahwa ventilasi alami adalah pergantian secara alami (tidak melibatkan peralatan mekanik, seperti mesin penyejuk udara yang dikenal dengan *airconditioner* atau AC). Ventilasi dibutuhkan agar udara di dalam ruangan tetap sehat dan nyaman. Ventilasi alami menawarkan ventilasi yang sehat, nyaman, dan tanpa energi tambahan.

Penggunaan ventilasi alami dalam ruangan memiliki beberapa kekurangan, kekurangan ventilasi alami menurut satwiko (2004) sebagai berikut:

1. Suhu tidak mudah diatur.
2. Kecepatan angin tidak mudah diatur .
3. Kualitas udara tidak mudah diatur (debu, bau, dan polusi).
4. Gangguan serangga.
5. Gangguan lingkungan (kebisingan dan lain-lain) sulit dicegah.

Menurut cara membukanya, ventilasi alami ada dua macam, yaitu ventilasi alami yang terbuka permanen dan ventilasi alami temporer yang dapat dibuka dan ditutup. Sebaiknya sebuah ruang mempunyai keduanya. Ventilasi permanen untuk menjamin pertukaran udara minimal setiap hari, sedangkan ventilasi temporer difungsikan apabila memerlukan kondisi penghawaan yang lebih baik, misalnya ketika jumlah penghuni ruang semakin banyak, atau ketika cuaca sangat panas. Contoh ventilasi alami yang terbuka permanen adalah roster, sedangkan untuk ventilasi alami temporer yang dapat dibuka dan tutup adalah jendela, pintu, boven, dan jalusi/ krepyak.

4. Standar Ventilasi Alami

Berdasarkan SNI 03-6572-2001, keadaan lingkungan yang mempengaruhi kenyamanan penghuni dalam suatu ruangan adalah sirkulasi udara. Suatu ruangan yang layak ditempati, misalkan kantor, pertokoan, pabrik, ruang kerja, kamar mandi, binatu dan ruangan lainnya untuk tujuan tertentu, harus dilengkapi dengan ventilasi. Ventiasi terbagi atas ventilasi alami dan ventilasi yang diambil dari ruang yang bersebelahan. Ventilasi alami terjadi karena adanya perbedaan tekanan di luar suatu bangunan gedung yang disebabkan oleh angin dan karena adanya perbedaan temperatur, sehingga terdapat gas-gas panas yang naik di dalam saluran ventilasi. Ventilasi alami yang disediakan harus terdiri dari bukaan permanen, jendela, pintu atau sarana lain yang dapat dibuka dengan kriteria sebagai berikut:

- a) Jumlah bukaan ventilasi tidak kurang dari 5% terhadap luas lantai ruangan yang membutuhkan ventilasi.
- b) Arahnya menghadap ke halaman berdinding dengan ukuran yang sesuai atau daerah yang terbuka ke atas.

5. Kenyamanan

Kenyamanan dan perasaan nyaman adalah penilaian komprehensif seseorang terhadap lingkungannya. Kenyamanan tidak dapat diwakili oleh satu angka tunggal. Manusia menilai kondisi lingkungan berdasarkan rangsangan yang masuk ke dalam dirinya melalui keenam indera melalui syaraf dan dicerna otak untuk dinilai. Dalam hal ini yang terlibat tidak hanya masalah fisik biologis, namun juga perasaan. Suara, cahaya, bau, suhu dan lain-lain rangsangan ditangkap sekaligus, lalu diolah oleh otak. Kemudian otak akan memberikan penilaian relatif apakah kondisi itu nyaman atau tidak. Ketidaknyamanan di satu faktor dapat ditutupi oleh faktor lain. (Satwiko, 2004)

6. Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal adalah suatu kondisi termal yang dirasakan oleh manusia yang dipengaruhi oleh lingkungan dan benda-benda disekitar arsitekturnya (Frick, 2008:74). Pandangan ini menunjukan bahwa kenyamanan termal dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah lingkungan arsitekturnya, bilamana arsitekturnya tidak sesuai dengan kaidah perencanaan maka dapat mempengaruhi kenyamanan termal suatu ruangan.

Terry S. Boutet (1987), menjelaskan bahwa definisi kenyamanan termal adalah keseimbangan termal yang dicapai dari pertukaran panas antara tubuh manusia dengan lingkungan termal pada tingkatan yang sesuai. Sebuah kondisi di mana tubuh manusia melakukan aktivitas mekanisme termoregulatori secara minimal.

Manusia merasa nyaman ketika di ruangan apabila suhu yang dirasakan berada pada kondisi nyaman termal. Kondisi nyaman termal tercapai apabila

kondisi badan dalam keadaan seimbang. arti dari kondisi badan yang seimbang adalah keadaan tubuh yang mampu menyeimbangkan suhu tubuh dari proses metabolisme dengan cara evaporasi, radiasi, konduksi, dan konveksi. Dari proses tersebut dapat diartikan secara sederhana bahwa kecepatan produksi panas badan dan kecepatan buang panas badan ke lingkungan harus seimbang. Pendapat tersebut dikuatkan Markus dan Morris (1980), Mc Intyre (1980), Fanger (1982), Nobert Lechner (1991) dan Moore (1993) dalam Sugini (2014) dapat dirangkum bahwa kondisi nyaman termal tercapai apabila terjadi seimbangan panas badan dalam keadaan *homeostatis*. *Homeostatis* adalah kondisi ketika badan dalam posisi seimbang. Hal ini tercapai bila produk panas badan internal dari proses metabolisme dikurangi evaporasi karena penguapan dari kulit dan pernafasan, dikurangi atau ditambah panas radiasi dan konveksi akibat transfer panas dari badan ke atau dari lingkungan sama dengan nol.

Kenyamanan termal dapat diperoleh dengan cara mengendalikan atau mengatasi perpindahan panas yang dilakukan oleh tubuh manusia. Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah proses perpindahan kalor dari benda ke benda lain yang kurang panas. Sumber panas yang berasal dari tubuh manusia berasal dari pembakaran karbohidrat dalam tubuh, suhu udara sekitar yang meningkat dan radiasi matahari. Tubuh manusia dapat melepaskan panas dengan empat cara diantaranya dengan:

a. Konduksi

Konduksi ialah perpindahan panas yang dihasilkan dari kontak langsung antara permukaan-permukaan. Tubuh manusia mungkin memperoleh panas dari lingkungan atau pengeluaran panas ke lingkungan berdasarkan konduksi. Ini terjadi hanya dengan menyentuh atau menghubungkan permukaan yang panas

atau sejuk. Misalnya dengan memegang benda yang dingin atau berpindah ke tempat yang lebih dingin.

b. Konveksi

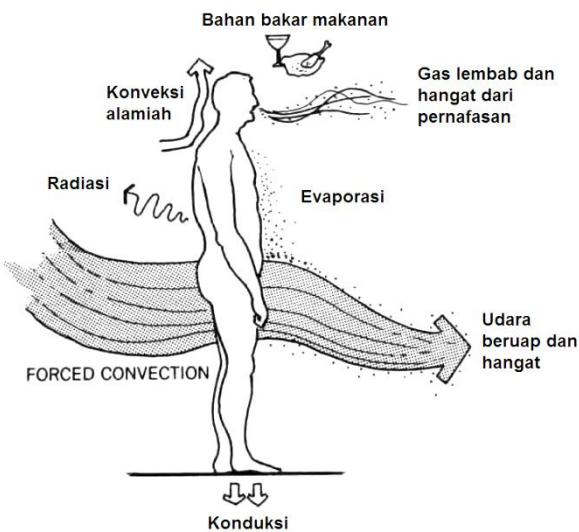
Konveksi ialah perpindahan panas berdasarkan gerakan fluida. Dalam hal ini, fluida adalah udara, panas dapat diperoleh atau hilang tergantung pada suhu udara yang melintasi tubuh manusia. Sebagai contoh, ketika tubuh mengalami kepanasan maka otomatis manusia keluar untuk mencari udara segar atau fluida bergerak.

c. Evaporasi (Penguapan)

Dalam perpindahan panas yang didasarkan pada evaporasi, tubuh manusia hanya dapat kehilangan panas. Ini terjadi karena kelembaban di permukaan kulit menguap ketika udara melintasi tubuh. Penguapan terjadi melalui permukaan kulit dan pernafasan. Penguapan keringat dari permukaan kulit mendinginkan tubuh, karena perubahan keadaan cair ke uap membutuhkan panas yang diambil dari tubuh. Besar kecilnya penguapan dari permukaan kulit dipengaruhi juga oleh pakaian yang dikenakan.

d. Radiasi

Radiasi ialah perpindahan panas berdasarkan gelombang-gelombang elektromagnetik. Tubuh manusia akan mendapat panas pencaran dari setiap permukaan yang suhunya lebih tinggi dan akan kehilangan panas atau memancarkan panas ke setiap objek atau permukaan yang lebih dingin dari diri sendiri. Panas pancaran yang diperoleh atau hilang tidak dipengaruhi oleh gerakan udara, juga tidak oleh suhu udara antara permukaan-permukaan atau objek-objek yang memancar.



Gambar 2. Proses Perolehan Panas dan Pembuangan Panas
 (Sumber : Lechner, 1991 dalam Sugini, 2014)

Jumlah keseluruhan perpindahan panas yang dihasilkan oleh masing-masing cara hampir seluruhnya ditentukan oleh kondisi lingkungan yang ada. Misalkan, udara yang jenuh tak dapat menerima kelembaban dari tubuh, jadi perpindahan panas tak dapat terjadi melalui penguapan.

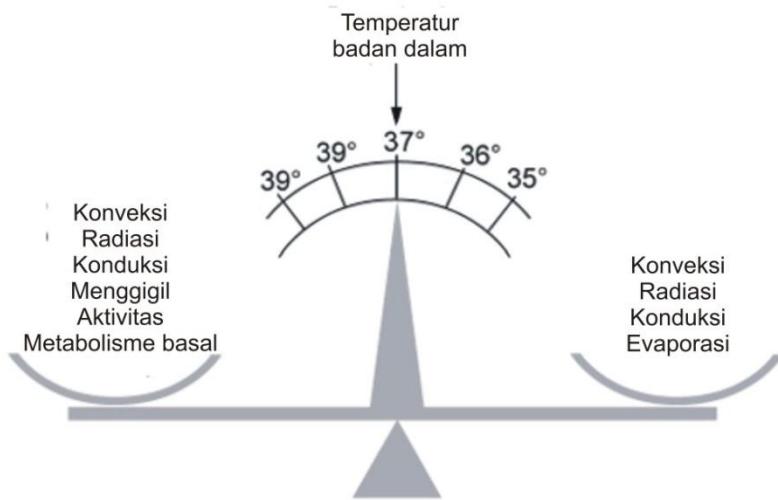
Ruangan yang panas atau lembab dapat menimbulkan reaksi-reaksi psikologis dari seseorang. Kenyamanan termal yang berubah di luar normal dapat berpengaruh terhadap kondisi seseorang baik itu ketidaknyamanan fisik (berkeringat/ evaporasi, cepat lelah, kurang oksigen sehingga menjadi mudah mengantuk), maupun ketidaknyamanan mental seperti munculnya berbagai macam negatif terhadap penghuni ruangan tersebut.

Agar dapat hidup baik dan nyaman, suhu tubuh manusia harus dipertahankan sekitar 37°C . Bertambah tingginya suhu tubuh manusia merupakan tanda bahwa yang bersangkutan menderita sakit. Oleh karena itu di dalam tubuh manusia terdapat organ tertentu yang mempertahankan suhu tubuh agar tetap normal atau seimbang. Kondisi seimbang ini disebut *homeostatis*.

Apabila terjadi kondisi tidak seimbang, maka *hypothalamus* (bagian otak yang berfungsi sebagai termostat) akan memerintah sistem termoregulator badan untuk melakukan aktivitas internal dalam badan yang akan mengembalikan kesetimbangan panas tersebut. Aktivitas-aktivitas tersebut berupa mekanisme berkeringat, sistem isolator tubuh, perubahan aliran darah, dsb (Guyton, 1992 dalam Sugini, 2014). Demikian seterusnya proses fisiologis pencapaian keseimbangan panas itu terjadi. Sistem termoregulator akan mengalami pembiasaan dengan lingkungan klimatis dan bentuk aktivitasnya sehingga akan tercapai *aklimatisasi*.

Gejala yang akan terjadi, ketika *hypothalamus* tidak dapat mempertahankan suhu tubuh manusia pada suhu normal, maka gejala yang akan terjadi:

- 1) *Heat exhaustion* : akan menimbulkan rasa lelah akibat panas yang berlebihan, disertai rasa mual, sakit kepala dan gelisah.
- 2) *Heat Stroke* : akan mengakibatkan delirium (mengigau), pingsan (tidak sadar), dan akan mengakibatkan meninggal dunia akibat panas yang berlebihan.
- 3) *Heat Aesthemia* : akan mengakibatkan kejemuhan, sakit kepala, gelisah, susah untuk tidur (*insomnia*) dan mudah tersinggung.
- 4) Mengakibatkan serangan jantung, karena suhu lingkungan yang tinggi daya kerja jantung lebih cepat mengalirkan darah ke seluruh tubuh untuk menurunkan suhu.



Gambar 3. Keseimbangan Panas dalam Tubuh Manusia
(Sumber : koenigsberger, 1975 dalam Sugini, 2014)

Beberapa faktor yang berkaitan dengan kenyamanan termal adalah sebagai berikut (Fanger, 1982 dalam Sugini 2014):

- 1) Produksi panas internal yang ditentukan oleh tingkat metabolisme dalam badan dan tingkat aktivitas.
- 2) Kehilangan panas karena respirasi melalui paru-paru.
- 3) Kehilangan panas melalui penguapan kulit.
- 4) Kehilangan panas melalui radiasi dan konveksi dari permukaan luar badan ke bagian tubuh yang tertutup pakaian.

Empat hal tersebut akan berkaitan dengan enam faktor sebagai berikut:

- 1) Temperatur udara
- 2) Temperatur radiasi rata-rata
- 3) Kecepatan udara
- 4) Kelembaban udara
- 5) Tingkat aktivitas
- 6) *Thermal resistance* dari pakaian

7. Rekayasa Kenyamanan Termal

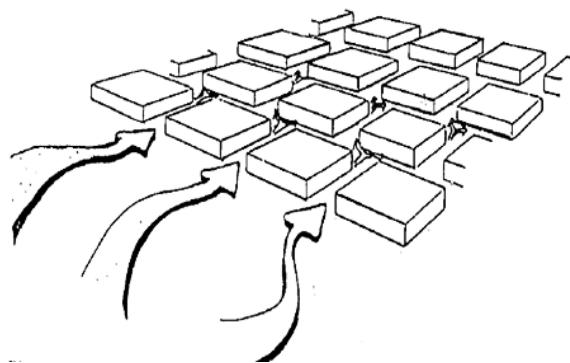
Kenyamanan termal dipengaruhi oleh faktor klimatis dan fisiologis penghuni ruang, selain itu kenyamanan termal dapat dipengaruhi oleh kondisi dalam ruang maupun luar ruang, ketika sensasi termal dalam ruang semakin meningkat menuju tidak nyaman, suasana kegiatan di dalam ruang menjadi tidak kondusif. Kondisi termal dalam ruang yang semakin memburuk dapat dikendalikan dengan pendekatan mekanis yaitu menggunakan AC (Air Conditioning), namun untuk menggunakannya diperlukan biaya operasional yang tidak sedikit. Pendekatan kedua adalah mengkondisikan lingkungan di luar dan ventilasi bangunan secara alami dengan pendekatan arsitektural.

a. Rekayasa ruang luar

Rekayasa ruang luar untuk mengendalikan kenyamanan termal dicapai dengan cara pemilihan dan perencanaan penempatan elemen di sekitar bangunan, elemen di sekitar bangunan yang dimaksud adalah penutup tanah dan vegetasi.

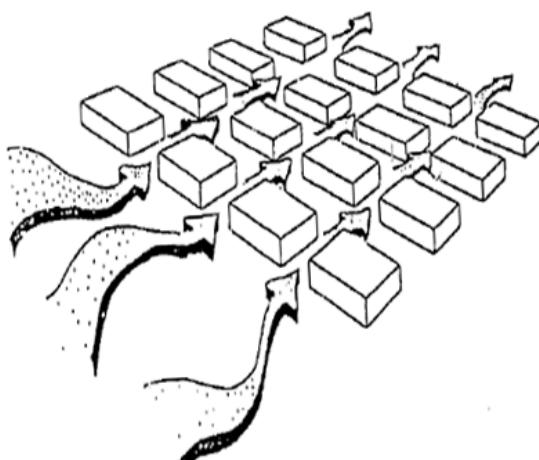
1) Konfigurasi Bangunan

Perletakan massa bangunan dapat mempengaruhi aliran udara yang berhembus, sehingga dengan perletakan yang sesuai dapat menciptakan kenyamanan termal yang baik. Posisi bangunan dengan pola papan catur akan mengakibatkan terjadinya kantung udara pada setiap sela bangunan, sehingga aliran udara lebih merata dan bangunan tidak berada dalam daerah bayangan angin.



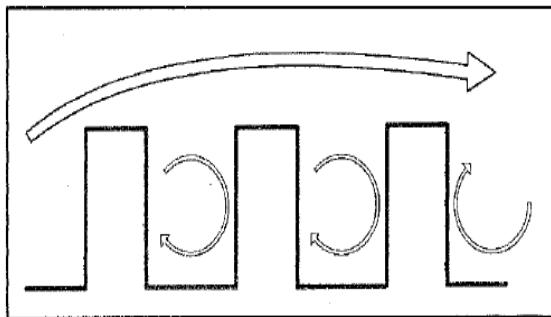
Gambar 4. Pola Bangunan Papan Catur
(Sumber : Gideon S. Golany, 1995)

Pola penataan bangunan teratur dalam bentuk grid dengan pola jalan yang saling memotong tegak lurus mengakibatkan angin tidak berbelok dan langsung keluar, selain itu dengan pola penataan grid, sela antar bangunan terdapat bayangan angin.



Gambar 5. Pola Bangunan Yang Grid
(Sumber : Gideon S. Golany, 1995)

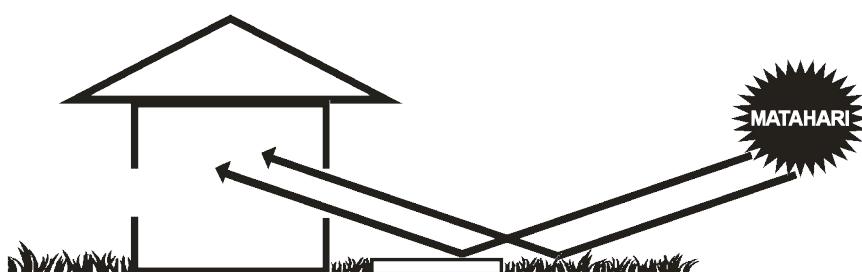
Membangun massa bangunan dengan posisi berjajar dapat menimbulkan kantung-kantung turbulensi yang berisi pergerakan udara kecil yang menciptakan pola lompatan yang tidak biasa pada aliran udara.



Gambar 6. Gerakan Udara Antara Barisan Rumah Yang Rapat Dan Sejajar.
 (Sumber : Lippemeier, 1994)

2) Penutup tanah

Penutup tanah sangat penting dalam menentukan kualitas iklim site. Hal ini disebabkan penutup tanah akan mempengaruhi reflektivitas radiasi matahari yang jatuh ke site. Pada akhirnya reflektivitas radiasi matahari menyebabkan naik turunnya temperatur sekitar bangunan.



Gambar 7. Permukaan Tanah Akan Menentukan Perolehan Panas Ruang Atau Bangunan.

(Sumber: Sugini, 2014)

Besaran reflektivitas penutup tanah mempengaruhi kondisi termal sekitar bangunan. Semakin besar reflektifitas penutup tanah semakin besar pula pengaruhnya terhadap kondisi termal.

Tabel 1. Material dan Reflektivitasnya

No	Material	Reflektivitas dalam %
1	Permukaan air, laut	3-10
2	Daun hijau	25-32
3	Lapangan rumput	3-15
4	Rumput kering	32

5	Tanah berpasir	15-40
6	Kayu	5-20
7	Beton	30-50
8	Batu bata	23-48
9	Batu	18
10	Salju putih yang baru	75-95

Catatan : Reflektivitas ini tetap akan berbeda bila kelembaban dan sudut radiasi berbeda

(Sumber: Evan,1980 dalam Sugini,2014)

(Basaria, 2005) penelitian di Afrika selatan, pada ketinggian 1m di atas permukaan perkerasan (beton) menunjukkan suhu yang lebih tinggi sekitar 4°C dibandingkan suhu pada ketinggian yang sama di atas permukaan rumput. Perbedaan ini menjadi sekitar 5°C apabila rumput tersebut terlindung dari radiasi matahari.

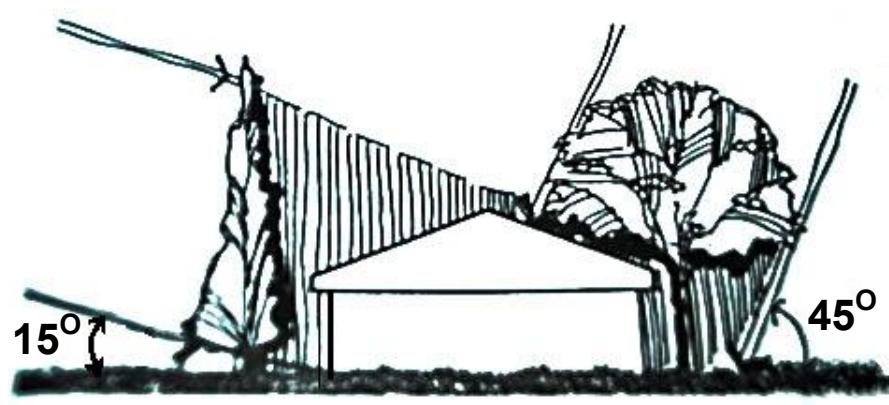
3) Vegetasi

Elemen lansekap seperti pohon dan vegetasi juga dapat digunakan sebagai pelindung terhadap radiasi matahari. Keberadaan pohon secara langsung/tidak langsung akan menurunkan suhu udara di sekitarnya, karena radiasi matahari akan diserap oleh daun untuk proses fotosintesa dan penguapan. Efek bayangan oleh vegetasi akan menghalangi pemanasan permukaan bangunan dan tanah di bawahnya.

Daerah dengan iklim yang relatif hangat atau panas menyebabkan desain lebih ditujukan untuk pendinginan atau menyegarkan. Bagaimana cara mendinginkan atau menyegarkan bangunan tergantung dari potensi iklim. Pada daerah beriklim tropis hangat lembab tentunya berbeda dengan iklim panas kering.

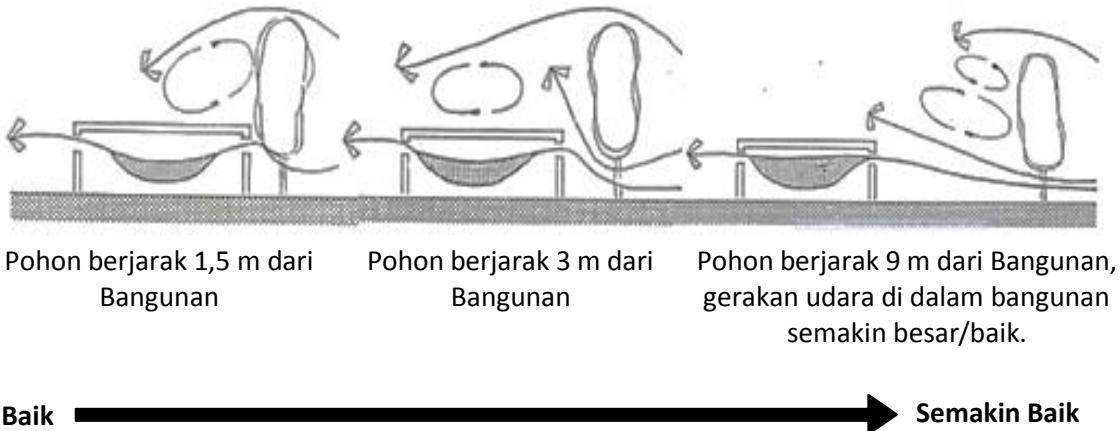
Indonesia adalah daerah yang beriklim hangat lembab dengan potensi angin berlimpah dan altitude yang relatif tinggi. Kondisi ini menyebabkan tujuan desain diarahkan pada usaha pendinginan secara konveksi dengan angin dan peneduhan untuk menghindari radiasi matahari dengan altitude tinggi.

Matahari dengan kualitas ultra violet datang dari arah terbit hingga 45° . Sedangkan kualitas radiasi matahari infra merah menjadi dominan memberikan efek panas mulai sudut 45° hingga 15° sebelum tenggelam. Oleh karena itu bila kita ingin menghalangi sinar matahari dengan kualitas radiasi panas maka pada sisi terbit ditanam tanaman dengan tipe kanopi. Sedangkan sebaliknya disisi matahari tenggelam ditanam penghalang radiasi matahari dengan tipe dahan rendah.



Gambar 8. Peneduhan Dengan Vegetasi Yang Tepat Pada Posisi yang Tepat
(Sumber: Sugini, 2014)

Pohon dan tanaman dapat dimanfaatkan untuk mengatur aliran udara ke dalam bangunan. Penempatan pohon dan tanaman yang kurang tepat dapat menghilangkan udara sejuk yang diinginkan terutama pada periode puncak panas. Menurut White R.F (dalam Concept in Thermal Comfort, Egan, 1975) kedekatan pohon terhadap bangunan mempengaruhi ventilasi alami dalam bangunan.



Gambar 9. Jarak Pohon Terhadap Bangunan dan Pengaruhnya Terhadap Ventilasi Alami

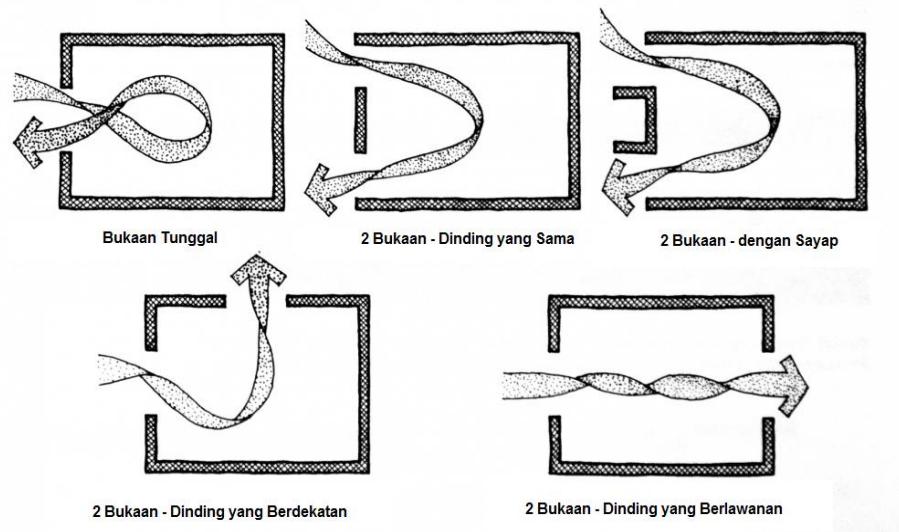
(Sumber: Basaria, 2005)

b. Ventilasi

Kenyamanan termal dalam ruang dapat dikendalikan dengan meningkatkan fungsi dari ventilasi. Agar performa sistem ventilasi alamiah pada bangunan mempunyai kualitas yang baik maka, diperlukan suatu desain lubang ventilasi tertentu. Berikut adalah aspek-aspek penting untuk mendesain lubang ventilasi:

1) Orientasi lubang ventilasi

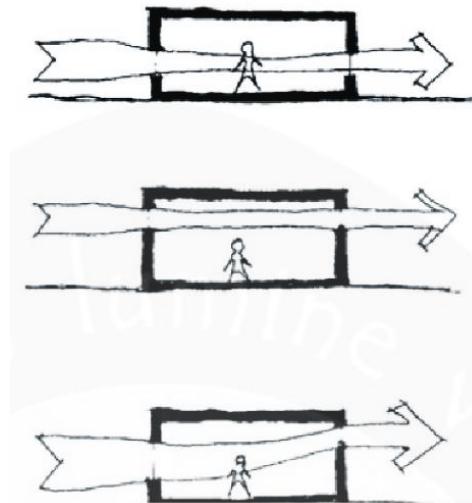
Lubang ventilasi sebaiknya ditempatkan/ diorientasikan untuk menghadap arah dimana arah angin utama menuju bangunan. Perletakan dan orientasi bukaan inlet terletak pada zona bertekanan positif dan bukaan outlet terletak pada zona bertekanan negatif dalam rangka untuk mengoptimalkan pergerakan udara dalam sebuah bangunan. Perletakan dan orientasi bukaan Inlet tidak hanya mempengaruhi kecepatan udara, tetapi juga pola aliran udara dalam ruangan, sedangkan lokasi outlet hanya memiliki pengaruh kecil dalam kecepatan dan pola aliran udara.



Gambar 10. Ventilasi Silang (Gambar Bawah) Lebih Efektif
 (Sumber: G.Z. Brown dan Mark Dekay, 2000)

2) Posisi lubang ventilasi

Lubang ventilasi yang berfungsi untuk memasukkan udara (*inlet*) seyogyanya ditempatkan dengan ketinggian manusia beraktifitas. Salah satu syarat untuk bukaan yang baik yaitu harus terjadi *cross ventilation*. Dengan memberikan bukaan pada kedua sisi ruangan maka akan memberi peluang supaya udara dapat mengalir masuk dan keluar. Sementara lubang ventilasi yang berfungsi mengeluarkan udara (*outlet*) sebaiknya diletakkan sedikit lebih tinggi (di atas ketinggian aktivitas manusia) agar udara panas dapat dikeluarkan dengan mudah tanpa tercampur lagi dengan udara segar yang masuk melalui inlet. Ketinggian aktivitas manusia di dalam ruangan adalah lebih kurang 60-80 cm (aktivitas duduk) dan 100-150 cm (aktivitas berdiri)

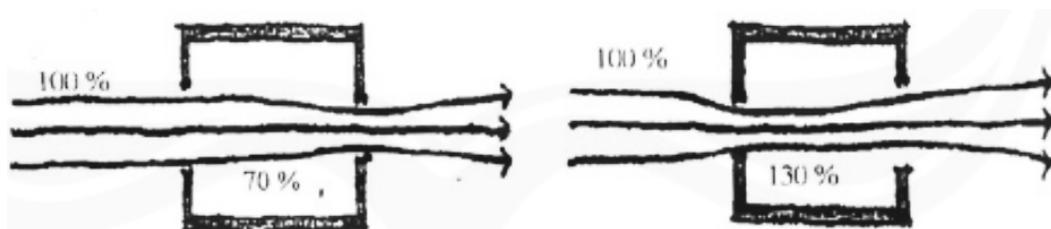


Gambar 11. Posisi Inlet dan Outlet Berpengaruh Terhadap Arah Angin Di Dalam Ruangan/ Bangunan

(Sumber: Mediastika,2003)

3) Dimensi lubang ventilasi

Semakin besar ukuran lubang ventilasi dan semakin banyak jumlahnya, maka semakin besar tingkat ventilasi yang terjadi dalam ruang atau bangunan tersebut. Rasio dimensi antara inlet dan outlet akan sangat berpengaruh dalam proses ventilasi.



Gambar 12. Perbedaan Dimensi Inlet dan Outlet Mempengaruhi Kecepatan Angin Pada Bangunan

(Sumber: Mediastika,2003)

Untuk menurunkan suhu udara dalam ruangan diperlukan pergerakan angin yang masif, dengan adanya perbedaan bukaan antara inlet dan outlet, tekanan udara

di luar dan dalam ruangan berubah, sehingga udara dapat masuk ke dalam ruangan.

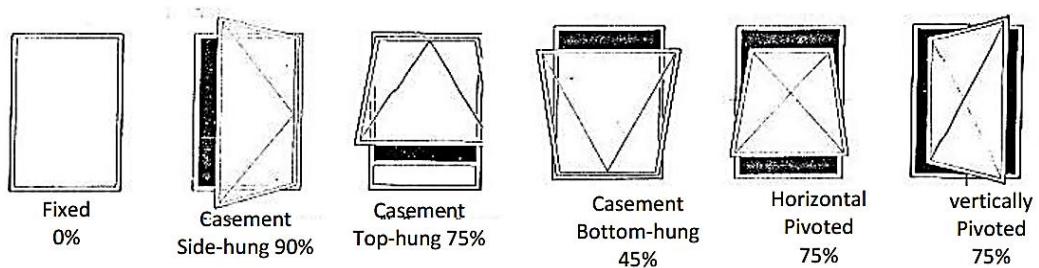
Tabel 2. Rasio Peningkatan Dimensi Bukaan.

No	Rasio	Peningkatan (%)
1	1 : 1	0
2	1,1 : 1	17,5
3	2 : 1	26

(Sumber: Laela, 2012)

4) Tipe bukaan

Tipe bukaan yang berbeda akan memberi sudut pengarah yang berbeda dalam menentukan arah gerak udara dalam ruang, serta efektifitas berbeda dalam mengalirkan udara masuk/ keluar ruang.



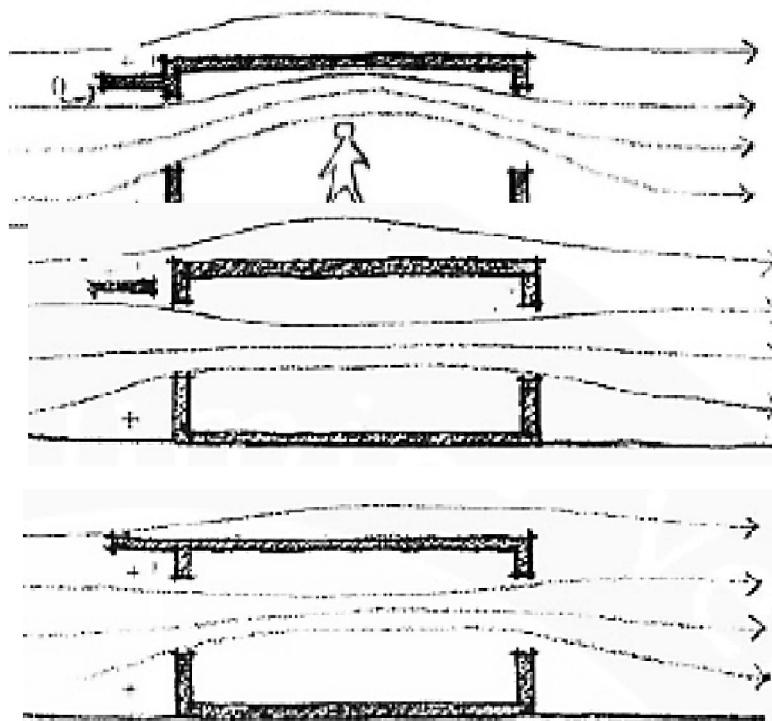
Gambar 13. Desain Bukaan
(Sumber: Beckett, HE, 1974, Godfrey, JA.)

Tipe jendela yang baik adalah yang mampu mengalirkan udara dengan prosentase terbesar yaitu tipe casement side-hung dengan nilai prosentase 90%.

5) Pengarah bukaan

Pengarah bukaan sangatlah berpengaruh terhadap upaya pemanfaatan angin dalam pengkondisian ruangan. Pengarah pada inlet akan menentukan arah gerak dan pola udara dalam ruang, sehingga perbedaan bentuk pengarah akan memberikan pola aliran udara yang berbeda-beda. Penggunaan kanopi pada bukaan inlet akan mengarahkan aliran udara ke atas dibandingkan bukaan inlet tanpa kanopi. Pada kondisi kecepatan angin dan arah angin terbatas, sebuah

lubang ventilasi bisa dilengkapi dengan fitur-fitur tambahan untuk mengarahkan dan menambah laju angin sebelum masuk ke dalam lubang ventilasi.



Gambar 14. Perbedaan Antara Bukaan Udara Menggunakan Kanopi dan Tidak Menggunakan Kanopi.

(Sumber: Melaragno, Michele, 1982)

Sayap horizontal merupakan fitur pada inlet yang dipasang secara horizontal untuk mengarahkan angin dari luar ke dalam bangunan.

8. Indeks Kenyamanan Termal PMV

Menurut Sugini, (2014) indeks kenyamanan termal adalah besaran ukuran yang digunakan untuk mengindikasikan kualitas termal. Berdasarkan pernyataan tersebut dapat diartikan bahwa indeks kenyamanan termal adalah indikator untuk menentukan kondisi termal lingkungan, indikator ini gabungan

dan dihitung secara matematis dari beberapa parameter yang sudah diuji dalam menentukan kenyamanan termal.

Indeks kenyamanan termal yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah indeks kenyamanan termal PMV (*Predicted Mean Vote*). PMV merupakan index yang dikenalkan oleh Professor Fanger dari University of Denmark yang mengindikasikan sensasi dingin (*cold*) dan panas (*hot*) yang dirasakan oleh manusia pada skala -3 sampai +3. PMV berhubungan dengan 6 parameter dan merupakan nilai rata-rata yang menggambarkan bagaimana yang dirasakan oleh orang banyak mengenai *cold* dan *hot*. Perbedaan individual dihubungkan dengan hubungan antara PMV dan PPD (*Predicted Percentage of Discomfort*). PMV merupakan sebuah index yang memperkirakan nilai rata-rata vote kelompok besar manusia pada 7 point skala sensasi thermal. Indeks PMV memiliki parameter yang paling lengkap. Model ini mempertimbangkan 6 parameter dan memiliki indeks pembanding ketidaknyamanan, yaitu PPD. Jadi sudah dipertimbangkan akan adanya berapa persen orang yang tidak merasa sesuai dengan yang tertera dalam PMV.

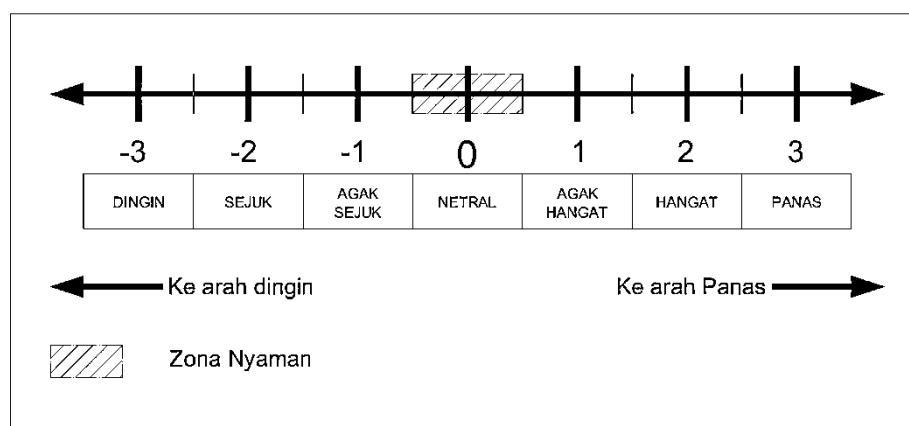
Tabel 3. Hubungan Antara PMV, PPD, dan Sensasi Termal

PMV	Sensasi termal	PPD
+3	Panas	100
+2	Hangat	75
+1	Agak hangat	25
0	Netral	5
-1	Agak sejuk	25
-2	Sejuk	75
-3	Dingin	100

(Sumber: ISO 7730)

PMV berasal dari fisik transfer panas dikombinasikan dengan kecocokan empiris untuk sensasi. PMV menetapkan ketegangan termal berdasar pada *steady-state heat transfer* antara tubuh dan lingkungan serta menempatkan vote kenyamanan pada jumlah tegangan tersebut. Jika PMV bergerak dari 0 ke

arah yang lain, maka PPD meningkat. Maka diharapkan menjaga PMV dekat dengan 0. Sugini, (2014) mengatakan bahwa konsep zone nyaman ditetapkan berkisar antara $PMV = -0,5$ sampai dengan $+0,5$. Batas $-0,5$ menunjukkan batas kondisi di bawah netral nol atau derajat kesejukan yang bisa diterima. Batas $+0,5$ menunjukkan batas di atas netral nol atau derajat kehangatan yang masih bisa diterima.



Gambar 15. Zona Nyaman Termal Menurut PMV Fanger
(Sumber : ASHRAE, 1999)

Faktor kenyamanan termal dikelompokkan menjadi dua. Pertama, faktor klimatis yang meliputi temperatur udara, temperatur radiasi, kecepatan angin, dan kelembaban. Ke dua, faktor personal, yang meliputi tingkat metabolisme yang ditentukan oleh faktor aktivitas dan faktor tingkat resistensi dari pakaian yang ditentukan oleh faktor pakaian.

a. Temperatur udara

Temperatur udara (ta) yang dimaksud adalah temperatur hasil pengukuran bola kering atau yang disebut temperatur bola kering (DBT). Temperatur udara kering sangat besar pengaruhnya terhadap besar kecilnya kalor yang dilepas melalui penguapan (evaporasi) dan melalui konveksi. Menurut (SNI 03-6572-2001: 11).

Umumnya daerah yang paling panas adalah daerah katulistiwa, karena paling banyak menerima radiasi matahari. Tetapi temperatur udara juga dipengaruhi oleh faktor derajat lintang (musim), atmosfer, serta daratan dan air. Temperatur terendah pada 1-2 jam sebelum matahari terbit dan temperatur tertinggi pada 1-2 jam setelah posisi matahari tertinggi, dengan 43% radiasi matahari dipantulkan kembali, 43% diserap oleh permukaan bumi, dan 14% diserap oleh atmosfer. Penyinaran langsung dari sebuah dinding bergantung pada orientasinya pada matahari, dimana pada iklim tropis paling banyak terkena radiasi matahari, sehingga dapat disolusikan dengan beberapa bahan yang mampu menyerap 50%-95% radiasi matahari.

b. Temperatur radiasi

Temperatur radiasi adalah temperatur yang disebabkan karena panas yang ditimbulkan radiasi. Untuk ruang luar, temperatur radiasi akan bersumber pada radiasi matahari dan pengukuran dilakukan dengan solarimeter. Radiasi dari matahari diukur dengan satuan watt perluasan area. Untuk didalam ruang temperatur radiasi dominan disebabkan karena radiasi benda sekitar dan elemen ruang.

c. Kecepatan angin

Angin adalah udara yang bergerak karena adanya gaya yang diakibatkan oleh perbedaan tekanan dan perbedaan suhu (Satwiko, 2009:5). Angin pada daerah iklim tropis-lembab cenderung minim, biasanya berhembus agak kuat di siang hari atau pada musim pancaroba. Kenyamanan di daerah tropis-lembab hanya dapat dicapai dengan bantuan aliran angin yang cukup pada tubuh manusia.

Pergerakan angin adalah aspek yang penting untuk kenyamanan termal, terlebih di daerah panas, seperti halnya di daerah tropis. Di daerah dingin pergerakan udara tidak terlalu berpengaruh karena biasanya jendela-jendela ditutup untuk mencegah masuknya angin yang dingin. Pergerakan udara atau angin yang menyapu permukaan kulit mempercepat pelepasan panas secara konveksi. Bila pemukaan kulit basah, maka penguapan yang terjadi mengakibatkan terjadinya pelepasan panas yang lebih besar (Frick, 2008:48). Gerakan udara tidak dapat mencegah terjadinya radiasi dari lapisan luar ke kelapisan dalam tetapi dapat menyalurkan panas yang terbentuk di dalam ruang kosong tersebut.

d. Kelembaban udara

Kelembaban udara adalah jumlah uap air di udara yang diekspresikan dengan prosentasi.

Menurut Allaby (2007), kelembaban adalah banyaknya kadar uap air di udara. Istilah ini hanya mewakili air yang hadir dalam bentuk gas. Kelembaban dapat dihitung dalam beragam cara yaitu *mixing ratio*, *specific humidity* dan *relative humidity*. Berkaitan dengan laporan cuaca, kelembaban yang dimaksud atau umum digunakan adalah *relative humidity* (Kelembaban udara) dimana biasa disingkat RH. Kelembaban udara adalah rasio antara massa uap air yang ada dalam satuan massa udara kering (*mixing ratio*) dengan jumlah yang dibutuhkan untuk menghasilkan saturasi (*saturation mixing ratio*) dalam udara tersebut. Angka kelembaban bernilai 0-100 % dimana 0% artinya udara kering dan 100 % berarti udara jenuh dengan uap air dimana akan terjadi titik-titik air (saturasi). Kelembaban udara adalah kandungan uap air dalam udara. Biasanya kelembaban udara menjadi penting saat suhu udara mendekati tau melampaui

ambang batas daerah kenyamanan termal dan kelembaban udara mencapai lebih dari 70% atau kurang dari 40% (Mangunwijaya, 1997:147). Kelembaban udara yang tinggi mengakibatkan sulit terjadinya penguapan di permukaan kulit sehingga mekanisme pelepasan panas bisa terganggu. Dalam pergerakan seperti itu pergerakan udara akan sangat membantu penguapan (Frick, 2008:47). Kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya ketidaknyamanan termal sehingga harus diimbangi dengan kecepatan angin yang cukup dan menerus.

e. Aktivitas

Kenyamanan termal dilandasi oleh tercapai keseimbangan panas badan. Badan akan memelihara panas badan dalam kondisi $37^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Dengan demikian produksi panas badan dan pelepasan panas badan harus seimbang.

Produksi panas badan dihasilkan dari ujud sampingan proses metabolisme perubahan energi kimia dari makanan menjadi energi mekanik gerakan yang akan terujud dalam aktivitas tertentu. Semakin besar dan cepat metabolisme semakin besar produksi panas badan internal (Moore, 1993 dalam Sugini, 2014).

Besar cepatnya metabolisme akan dilihat dari aktivitasnya. Satuan untuk mengukurnya diujudkan dalam dua satuan yaitu rate metabolisme dan w/m^2 met. Secara lebih detail ukuran-ukuran aktivitas dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Aktivitas dan Nilai Metabolisme

No	Aktivitas	W/m ²	Rate metabolisme
1	Duduk santai	58	1
2	Berdiri santai	70	1,2
3	Memperbaiki jam	65	1,1
4	Aktivitas sedentari (kantor, sekolah, hunian, laboratorium)	70	1,2
5	Menyetir mobil	80	1,4
6	Berdiri, aktivitas ringan (belanja, laboratorium, industri ringan)	93	1,6

7	Mengajar	95	1,6
8	Pekerjaan rumah tangga antara lain mencuci	100	1,7
9	Berjalan dengan kecepatan 2 km/ jam	110	1,9
10	Berdiri, aktivitas medium (pekerjaan rumah)	116	2
11	Berjalan dengan kecepatan 5 km/ jam	200	3,4

(Sumber: Innova, 1997 dalam Prasasto Satwiko 2004)

Aktivitas manusia menimbulkan energi atau panas tertentu dalam tubuh yang bersangkutan. Makin tinggi aktivitas seseorang, makin besar pula kecepatan metabolisme di dalam tubuhnya sehingga makin besar energi atau panas yang dihasilkan. Bila faktor alam tidak dapat menyerap panas yang terjadi (dan harus dilepas demi kenyamanan termal orang itu) maka ia akan merasa tidak nyaman. Agar mendapatkan kenyamanan termalnya kembali, ia dapat memilih kegiatan lain yang lebih tenang dan yang tidak menimbulkan banyak panas. Dengan kata lain, pada saat suhu udara dan kelembaban udara tinggi dan angin kurang tersedia, kegiatan yang paling nyaman adalah tidur atau berbaring. Semakin aktif gerak tubuh maka panas yang dipancarkan akan semakin besar.

f. Pakaian

Kenyamanan akan ditentukan pada keseimbangan panas antara produksi panas internal dengan pelepasan panas badan. Pelepasan panas badan terjadi melalui evaporasi, konveksi, radiasi, dan konduksi. Yang menentukan konveksi, radiasi, dan konduksi adalah resistensi pakaian. Faktor pakaian diukur dengan *level of clothing* atau clo. Skala dimulai dengan 0 untuk tidak berpakaian sampai yang tertinggi menunjukkan tingkat ketertutupan dan jumlah dan bahan pakaian. Insulasi pakaian yang dipakai adalah penjumlahan insulasi dari semua jenis pakaian yang dikenakan.

Faktor pilihan yang lazim dan mudah diterapkan untuk mencapai kenyamanan termal adalah cara berpakaian. Manusia bisa memilih dan

menentukan jenis pakaian yang dikenakannya demi mencapai kenyamanan termal bagi dirinya. Untuk menentukan sifat pakaian yang digunakan dapat dilihat pada tabel pakaian da *clothing value* pada bagian lampiran. Untuk menentukan nilai clo gabungan, maka nilai clo yang ada dapat dijumlahkan. Batas nyaman untuk pakaian adalah $n \leq 0,5$ clo (Frick, 2008).

Tabel 5. Pakaian dan *Clothing Value*

Deskripsi			Clo	Resistan, $m^{20}C/W$
1	Pakaian dalam, celana	Celana dalam pendek sekali	0,02	0,003
		Celama dalam pendek	0,03	0,005
		Celana dalam	0,04	0,006
		Celana kaki $\frac{1}{2}$, wool	0,06	0,009
		Celana kaki panjang	0,10	0,016
2	Pakaian dalam, baju	Bra	0,01	0,002
		Baju tanpa lengan	0,06	0,009
		Oblong	0,09	0,014
		Baju lengan panjang	0,12	0,019
		<i>Half-slip</i> , nylon	0,14	0,022
3	Baju	<i>Tube top</i>	0,06	0,009
		Lengan pendek	0,09	0,029
		Blus ringan, lengan panjang	0,15	0,023
		Baju ringan, lengan panjang	0,20	0,031
		Baju normal, lengan panjang	0,25	0,039
		Baju flanel, lengan panjang	0,30	0,047
		Lengan panjang, blus kerah tinggi	0,34	0,053
4	Celana	Celana pendek	0,06	0,009
		Celana pendek selutut	0,11	0,017
		Celana panjang ringan	0,20	0,031
		Celana panjang normal	0,25	0,039
		Celana panjang flanel	0,28	0,043
		Celana terusan	0,28	0,043
5	Baju bengkel terusan	Harian, dengan sabuk	0,49	0,076
		Kerja	0,50	0,078
6	Baju bengkel dengan isolator panas	Terdiri atas beberapa komponen, berisi <i>fibre-pelt</i>	1,03	0,160
			1,13	0,175
7	Sweater	<i>Tanpa lengan</i>	0,12	0,019
		Sweater tipis	0,20	0,031
		Lengan panjang, berkerah (tipis)	0,26	0,040
		Sweater	0,28	0,043
		Sweater tebal	0,35	0,054
		Lengan panjang, berkerah (tebal)	0,37	0,057

(Sumber: Innova, 1997 dalam Prasasto Satwiko 2004)

Enam variabel diatas dihitung menggunakan persamaan yang telah ditulis oleh Fanger, seperti dibawah ini.

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-0,036M} + 0,028) [(M-W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}]$$

$$H = \varepsilon \sigma (A_r/A_{DU}) f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)$$

$$t_{cl} = t_{sk} - I_{cl} k_l f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - I_{cl} f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)$$

$$k_l = \varepsilon \sigma (A_r/A_{DU}) = 39,60 \cdot 10^{-9}$$

$$h_c = 2,38 \cdot (t_{cl} - t_a)^{0,25} \text{ atau } 12,1 \cdot (V_{ar})^{0,5} \text{ dipilih lebih besar}$$

$$F_{cl} = 1,00 + 1,29 \cdot I_{cl} \text{ apabila } I_{cl} < 0,078 m^2 \text{C/W atau}$$

$$1,05 + 0,645 \cdot I_{cl} \text{ apabila } I_{cl} \geq 0,078 m^2 \text{C/W}$$

$$tsk = 35,7 - 0,028 \cdot (M-W)$$

$$E_c = 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M-W) - p_a] + 0,42 \cdot (M-W - 58,15)$$

$$C_{res} = 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a)$$

$$E_{res} = 1,72 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a)$$

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)}$$

Keterangan :

M = Kecepatan metabolisme, W/m²

W = Tenaga mekanis efektif, W/m²

P_a = Kelembaban, tekanan parsial uap air, Pa

t_a = Temperatur udara, °C

t_f = Temperatur permukaan rata-rata, °C

f_{cl} = Faktor area pakaian. Perbandingan antara permukaan tubuh yang tertutup pakaian dan yang terbuka.

V_{ar} = Kecepatan angin relatif. Kecepatan angin relatif yang mengenai tubuh, termasuk jika tubuh bergerak, m/dtk

t_{cl} = Temperatur permukaan pakaian, °C

I_{cl} = Isolator pakaian, m² °C/W

E_c = Pertukaran panas secara penguapan pada kulit ketika manusia mengalami sensasi netral, W/m²

C_{res} = Pertukaran panas konvektif respiratori, W/m²

E_{res} = Pertukaran panas evaporatif respiratori, W/m²

T_{sk} = Temperatur kulit, °C

H = Kehilangan panas kering. Kehilangan panas melalui kulit akibat konveksi, radiasi, dan konduksi.

PMV = *Predicted Mean Vote*

PPD = *Predicted Percentage Of Dissatisfied*

B. Kerangka Pikir

Berdasarkan landasan teori yang digunakan untuk meneliti kenyamanan termal pada ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan SMK N 2 Pengasih, maka digunakan beberapa variable dan aspek penelitian yang meliputi:

1. Landasan teori indeks kenyamanan termal

Mengetahui kenyamanan termal berdasarkan teori indeks kenyamanan termal, dengan mencari data lapangan tentang kondisi temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan udara, radiasi matahari, pakaian, dan aktivitas siswa di dalam ruang gambar Prgram Studi teknik gambar Bangunan SMK N 2 Pengasih dalam keadaan jendela terbuka dan dalam keadaan jendela tertutup, kemudian dihitung menggunakan persamaan PMV.

2. Titik pengukuran indeks kenyamanan termal

Data pengukuran di lapangan akan diperoleh dari 9 titik pengukuran temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan udara, radiasi matahari, pakaian, dan aktivitas siswa di dalam ruang gambar Prgram Studi teknik gambar Bangunan SMK N 2 Pengasih dalam keadaan jendela terbuka dan dalam keadaan jendela tertutup yang memiliki rata-rata secara keseluruhan.

3. Analisis indeks kenyamanan termal

Berdasarkan data pengukuran dalam keadaan jendela terbuka dan dalam keadaan jendela tertutup, kemudian dihitung menggunakan persamaan PMV, maka akandi ketahui skala termal antara -3 (dingin) sampai +3 (panas) masing-masing kondisi.

C. Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan uraian di atas, dapat dirumuskan pertanyaan penelitian sebagai berikut:

4. Bagaimana luas bukaan pada sistem ventilasi ruang gambar Paket Keahlian Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih ditinjau dari SNI 03-6572-2001?
5. Bagaimana perbedaan indeks kenyamanan termal PMV antara jendela terbuka seluruhnya dengan jendela tertutup seluruhnya di ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan SMK N 2 Pengasih?
6. Bagaimana perbedaan antara jendela terbuka seluruhnya dengan jendela tertutup seluruhnya terhadap kualitas termal ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan SMK N 2 Pengasih?

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dengan judul "Kajian Kenyamanan Termal Ruang Gambar Program StudiTeknik Gambar Bangunan di SMK Negeri 2 Pengasih" ini dilakukan di SMK Negeri 2 Pengasih, tepatnya di ruang gambar (ruang 1) Program Studi Teknik Gambar Bangunan. Pelaksanaan penelitian membutuhkan waktu 1 bulan, yaitu bulan November 2014 hingga Desember 2014.

B. Jenis Penelitian

Penelitian dengan judul "Kajian Kenyamanan Termal Ruang Gambar Program Keahlian Teknik Bangunan di SMK Negeri 2 Pengasih" ini dilaksanakan untuk menilai pengaruh bukaan pada ventilasi terhadap kenyamanan termal di ruang gambar,khususnya ruang gambar (ruang 1) di Program Keahlian Teknik Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih. Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian deskriptif evaluatif dengan pendekatan kuantitatif.

(Sugiyono, 2003:11) Penelitian deskriptif adalah penelitian yang dilakukan untuk mengetahui variabel mandiri, baik satu variabel atau lebih (independent) tanpa membuat perbandingan atau menghubungkan variabel yang lain. Tujuan dari metode deskriptif menurut Rakhmat (2001:22), adalah untuk melukiskan secara sistematis fakta atau karakteristik populasi tertentu atau bidang tertentu secara factual dan cermat.

Menurut Diah (2011), penelitian evaluatif memiliki dua kegiatan utama yaitu pengukuran atau pengambilan data serta membandingkan hasil pengukuran dan pengumpulan data dengan standar yang digunakan. Berdasarkan hasil perbandingan ini maka akan didapatkan kesimpulan bahwa suatu kegiatan yang dilakukan itu layak atau tidak, relevan atau tidak, efisien dan efektif atau tidak.

C. Lokasi dan Objek Penelitian

Lokasi dan objek penelitian ini adalah ruang gambar Program Studi teknik Gambar Bangunan SMK N 2 Pengasih Kulon Progo. Yang akan diteliti seberapa besar indeks kenyamanan termal menggunakan persamaan PMV di ruang gambar Program Studi teknik Gambar Bangunan SMK N 2 Pengasih, yang didapat dari pengukuran temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan udara, temperatur radiasi, aktivitas siswa dan insulasi pakaian.

D. Sumber Data

Sumber data ditentukan berdasarkan data dan informasi yang diperoleh peneliti secara langsung dari pengukuran di lapangan. Informasi yang akan diukur yaitu mengenai kenyamanan termal di ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan yang berupa data mengenai temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan udara, Temperatur radiasi, aktivitas siswa, dan insulasi pakaian.

E. Teknik Pengumpulan Data

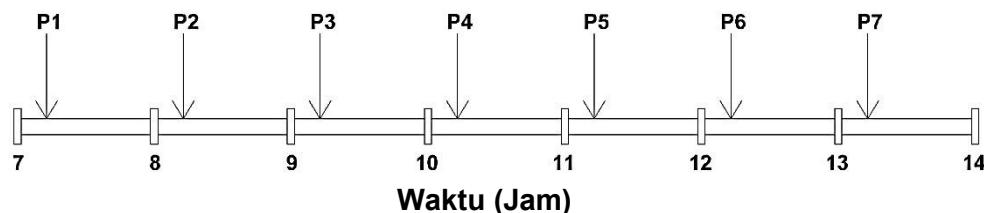
Ada beberapa teknik pengumpulan data yang peneliti gunakan dalam penelitian ini, hambatan-hambatan yang dihadapi oleh berbagai pihak dan upaya-upaya untuk mengatasi hambatan-hambatan yang timbul. Adapun beberapa teknik pengumpulan data tersebut adalah pengamatan, penggambaran/ pemetaan, pengukuran dan dokumentasi. Teknik tersebut digunakan untuk memperoleh data dan informasi yang saling menunjang dan melengkapi. Penjabaran dari teknik pengumpulan data tersebut adalah sebagai berikut:

1. Observasi

Pengamatan (observasi), yaitu teknik pengumpulan data melalui pengamatan langsung kepada obyek penelitian. Menurut Sugiyono 2008: 2003), observasi sebagai teknik pengumpulan data mempunya ciri yang spesifik bila dibandingkan dengan teknik yang lain, yaitu wawancara dan dokumentasi. Observasi tidak terbatas pada orang, tetapi juga obyek-obyek alam yang lain.

2. Pengukuran

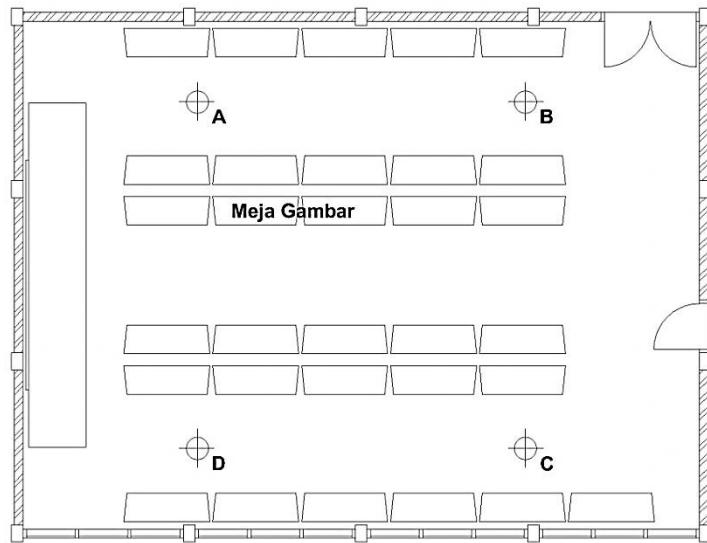
Data di lapangan akan diperoleh dari 4 titik pengukuran temperatur udara, kecepatan udara, kelembaban udara dan temperatur radiasi yang mewakili nilai rata-rata secara keseluruhan antara jendela terbuka seluruhnya dengan jendela tertutup seluruhnya dengan ketinggian orang berposisi berdiri ($\pm 1,60$ m), dikarenakan kegiatan menggambar di dalam ruang lebih banyak dilakukan dengan posisi berdiri. Pengukuran selama tiga hari berturut-turut, dilakukan mulai pukul 07.00 sampai dengan 14.00. dengan interval waktu setiap satu jam.



Gambar 16. Prosedur Pengumpulan Data
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2014)

Keterangan :

P1, P2, P3,..., P7 : Pengukuran temperatur udara, temperatur radiasi, kecepatan udara, kelembaban udara.



Gambar 17. Titik Pengukuran dalam Ruangan
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2014)

3. Dokumentasi

Menurut Moleong (2001: 161), yang dimaksud dokumen adalah setiap bahan tertulis ataupun film, yang dapat digunakan dalam penelitian sebagai sumber data karena dalam banyak hal dokumen dapat dimanfaatkan untuk menguji, menafsirkan bahkan untuk meramalkan.

Dokumentasi digunakan untuk melengkapi dan menambah validitas data yang diperoleh melalui pengamatan, penggambaran, pengukuran, dan pemetaan. Sumber informasi yang didokumentasikan adalah sumber informasi yang sangat penting dan dapat menggambarkan bagaimana kondisi ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan di SMK N 2 Pengasih secara factual.

Teknik dokumentasi dalam penelitian ini dilakukan untuk mencari sumber data dan informasi berkaitan dengan nilai metabolisme yang dihasilkan dari aktivitas siswa dan besaran nilai insulasi pakaian yang digunakan siswa di ruangan.

F. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian adalah suatu alat yang digunakan untuk mengukur fenomena alam maupun sosial yang diamati. Berikut adalah instrument yang digunakan berdasarkan permasalahan yang akan diteliti.

Tabel 6. Metode Pengukuran

No	Obyek Penelitian	Data	Metode/ teknik
1	Aspek kenyamanan termal	a. Temperatur udara b. Kelembaban udara c. Kecepatan udara d. Temperatur radiasi e. Pakaian f. Aktivitas siswa	a. Pengukuran b. Pengukuran c. Pengukuran d. Pengukuran e. Pengamatan dan Dokumentasi f. Pengamatan dan Dokumentasi

(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2014)

1. Temperatur udara

Instrumen untuk mengukur temperatur udara pada ruang diperoleh dengan melakukan pengukuran menggunakan *thermo-Hygrometer digital* ruang dengan resolusi -5°C hingga 50°C. Alat ini mampu membaca temperatur udara dan kelembaban udara, dalam hal ini yang dipakai adalah indikator temperatur udara.

Tabel 7. Spesifikasi Ketepatan *Thermo-Hygrometer Digital*

	Jarak	Resolusi	Ketepatan
Kelembaban	5% to 95% R.H.	0,01% R.H.	±3% R.H.
Temperatur	0°C to 50°C 32°F to 122°F	0,01	0,8010°C 1,5°F
Suhu Mencair	-25,3°C to 48,9°C	0,01	

(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2014)



Gambar 18. *Thermo-Hygrometer Digital*

(Sumber: Dokumentasi, 2014)

2. Temperatur radiasi

Instrumen untuk mengukur temperatur radiasi matahari pada ruang diperoleh dengan melakukan pengukuran menggunakan *solar power meter* atau *globe thermometer*. Dikarenakan kelangkaan dan kesulitan pencarian alat, maka untuk data temperatur radiasi menggunakan data yang sama dengan temperatur udara.

3. Kecepatan angin

Instrumen untuk mengukur kecepat angin pada ruang diperoleh dengan melakukan pengukuran menggunakan *anemometer digital*, dengan kipas sebagai sensor data.

Tabel 8. Spesifikasi Ketepatan Anemometer Digital

No	Ukuran	Jarak	Resolusi	Ketepatan
1	m/s	0,4 to 25 m/s	0,1 m/s	$\pm(2\% + 2d)$
2	km/h	1,4 to 90 km/h	0,1 km/h	
3	mile/h	0,9 to 55,9 mile/h	0,1 mile/h	
4	knots	0,8 to 48,8 knots	0,1 knots	
5	ft/min	80 to 4930 ft/min	10 ft/min	
6	Temperatur °C	0°C to +50°C	0,1°C	0,8°C
7	Temperatur °F	32°F to 122°F	0,1°F	1,5°F

(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2014)



Gambar 19. Anemometer Digital
(Sumber: Dokumentasi, 2014)

4. Kelembaban udara

Instrumen untuk mengukur kelembaban udara pada ruang diperoleh dengan melakukan pengukuran menggunakan *thermo-Hygrometer digital* dengan resolusi 0%-100% RH yang juga dapat digunakan untuk mengukur temperatur udara. Alat ini mampu membaca temperatur udara dan kelembaban udara, dalam hal ini yang dipakai adalah indikator kelembaban udara.

5. Aktivitas

Instrumen untuk mengukur aktivitas di dalam ruang dalam hal ini menggunakan metode pengamatan secara langsung aktivitas siswa di dalam ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan SMK N 2 Pengasih dan membandingkan dengan standar peraturan yang sudah ada.

Tabel 9. Aktivitas dan Nilai Metabolisme

No	Aktivitas	W/m ²	Rate metabolisme
1	Duduk santai	58	1
2	Berdiri santai	70	1,2
3	Memperbaiki jam	65	1,1
4	Aktivitas sedentari (kantor, sekolah, hunian, laboratorium)	70	1,2
5	Menyetir mobil	80	1,4
6	Berdiri, aktivitas ringan (belanja, laboratorium, industri ringan)	93	1,6
7	Mengajar	95	1,6
8	Pekerjaan rumah tangga antara lain mencuci	100	1,7
9	Berjalan dengan kecepatan 2 km/ jam	110	1,9
10	Berdiri, aktivitas medium (pekerjaan rumah)	116	2
11	Berjalan dengan kecepatan 5 km/ jam	200	3,4

(Sumber: Innova, 1997 dalam Prasasto Satwiko 2008)

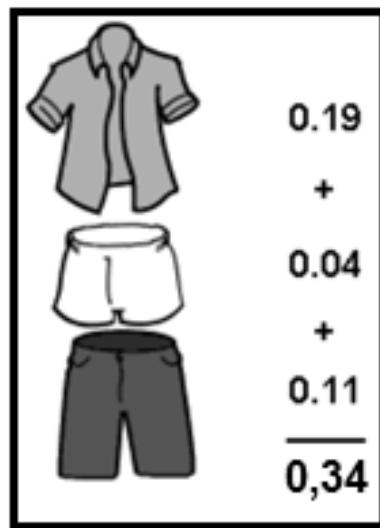
6. Pakaian

Instrumen yang digunakan untuk mengukur insulasi pakaian menggunakan metode pengamatan sekilas secara langsung di lapangan. Dalam hal objek pengamatan adalah jenis pakaian dan ketebalan pakaian yang digunakan oleh siswa di dalam ruang gambar Program Studi teknik gamabr Bangunan SMK N 2 Pengasih, kemudian dibandingkan dengan standar peraturan yang ada mengenai insulasi pakaian.

Tabel 10. Pakaian dan *Clothing Value*

Deskripsi			Clo	Resistan, m ² °C/W
1.	Pakaian dalam, celana	Celana dalam pendek sekali	0,02	0,003
		Celama dalam pendek	0,03	0,005
		Celana dalam	0,04	0,006
		Celana kaki ½, wool	0,06	0,009
		Celana kaki panjang	0,10	0,016
2.	Pakaian dalam, baju	Bra	0,01	0,002
		Baju tanpa lengan	0,06	0,009
		Oblong	0,09	0,014
		Baju lengan panjang	0,12	0,019
		<i>Half-slip</i> , nylon	0,14	0,022
3.	Baju	<i>Tube top</i>	0,06	0,009
		Lengan pendek	0,09	0,029
		Blus ringan, lengan panjang	0,15	0,023
		Baju ringan, lengan panjang	0,20	0,031
		Baju normal, lengan panjang	0,25	0,039
		Baju flanel, lengan panjang	0,30	0,047
		Lengan panjang, blus kerah tinggi	0,34	0,053
4.	Celana	Celana pendek	0,06	0,009
		Celana pendek selutut	0,11	0,017
		Celana panjang ringan	0,20	0,031
		Celana panjang normal	0,25	0,039
		Celana panjang flanel	0,28	0,043
		Celana terusan	0,28	0,043
5.	Baju bengkel terusan	Harian, dengan sabuk	0,49	0,076
		Kerja	0,50	0,078
6.	Baju bengkel dengan isolator panas	Terdiri atas beberapa komponen, berisi <i>fibre-pelt</i>	1,03	0,160
			1,13	0,175
7.	Sweater	<i>Tanpa lengan</i>	0,12	0,019
		Sweater tipis	0,20	0,031
		Lengan panjang, berkerah (tipis)	0,26	0,040
		Sweater	0,28	0,043
		Sweater tebal	0,35	0,054
		Lengan panjang, berkerah (tebal)	0,37	0,057

(Sumber: Innova, 1997 dalam Prasasto Satwiko 2008)



Gambar 20. Contoh perhitungan nilai insulasi pakaian
(Sumber: Innova ,1997 dalam Eka Helenda, 2011)

G. Teknik Analisis Data

Analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan analisis kuantitatif. Data hasil pengukuran dalam keadaan jendela tertutup seluruhnya dan dalam keadaan jendela terbuka seluruhnya, masing-masing dihitung dengan persamaan PMV. Data yang sudah dihitung dengan persamaan PMV antara keadaan jendela tertutup seluruhnya dengan keadaan jendela terbuka seluruhnya dibandingkan dengan grafik, apakah ada perbedaan indeks kenyamanan termal antara keadaan jendela tertutup seluruhnya dengan keadaan jendela terbuka seluruhnya ataukah sama saja.

Rumus persamaan PMV

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-0,036M} + 0,028) [(M-W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}]$$

$$H = \varepsilon \sigma (A_r / A_{DU}) f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)$$

$$t_{cl} = t_{sk} - l_{cl} k_f f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - l_{cl} f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)$$

$$k_l = \epsilon\sigma (A_r/A_{DU}) = 39,60 \cdot 10^{-9}$$

$$h_c = 2,38 \cdot (t_{cl}-t_a)^{0,25} \text{ atau } 12,1 \cdot (V_{ar})^{0,5} \text{ dipilih lebih besar}$$

$$F_{cl} = 1,00 + 1,29 \cdot I_{cl} \text{ apabila } I_{cl} < 0,078 \text{ m}^2 \text{C/W atau}$$

$$1,05 + 0,645 \cdot I_{cl} \text{ apabila } I_{cl} \geq 0,078 \text{ m}^2 \text{C/W}$$

$$tsk = 35,7 - 0,028 \cdot (M-W)$$

$$E_c = 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M-W) - p_a] + 0,42 \cdot (M-W - 58,15)$$

$$C_{res} = 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a)$$

$$E_{res} = 1,72 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a)$$

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)}$$

Keterangan :

M = Kecepatan metabolisme, W/m²

W = Tenaga mekanis efektif, W/m²

P_a = Kelembaban, tekanan parsial uap air, Pa

t_a = Temperatur udara, °C

t_f = Temperatur permukaan rata-rata, °C

f_{cl} = Faktor area pakaian. Perbandingan antara permukaan tubuh yang tertutup pakaian dan yang terbuka.

V_{ar} = Kecepatan angin relatif. Kecepatan angin relatif yang mengenai tubuh, termasuk jika tubuh bergerak, m/dtk

t_{cl} = Temperatur permukaan pakaian, °C

I_{cl} = Isolator pakaian, m² °C/W

E_c = Pertukaran panas secara penguapan pada kulit ketika manusia mengalami sensasi netral, W/m²

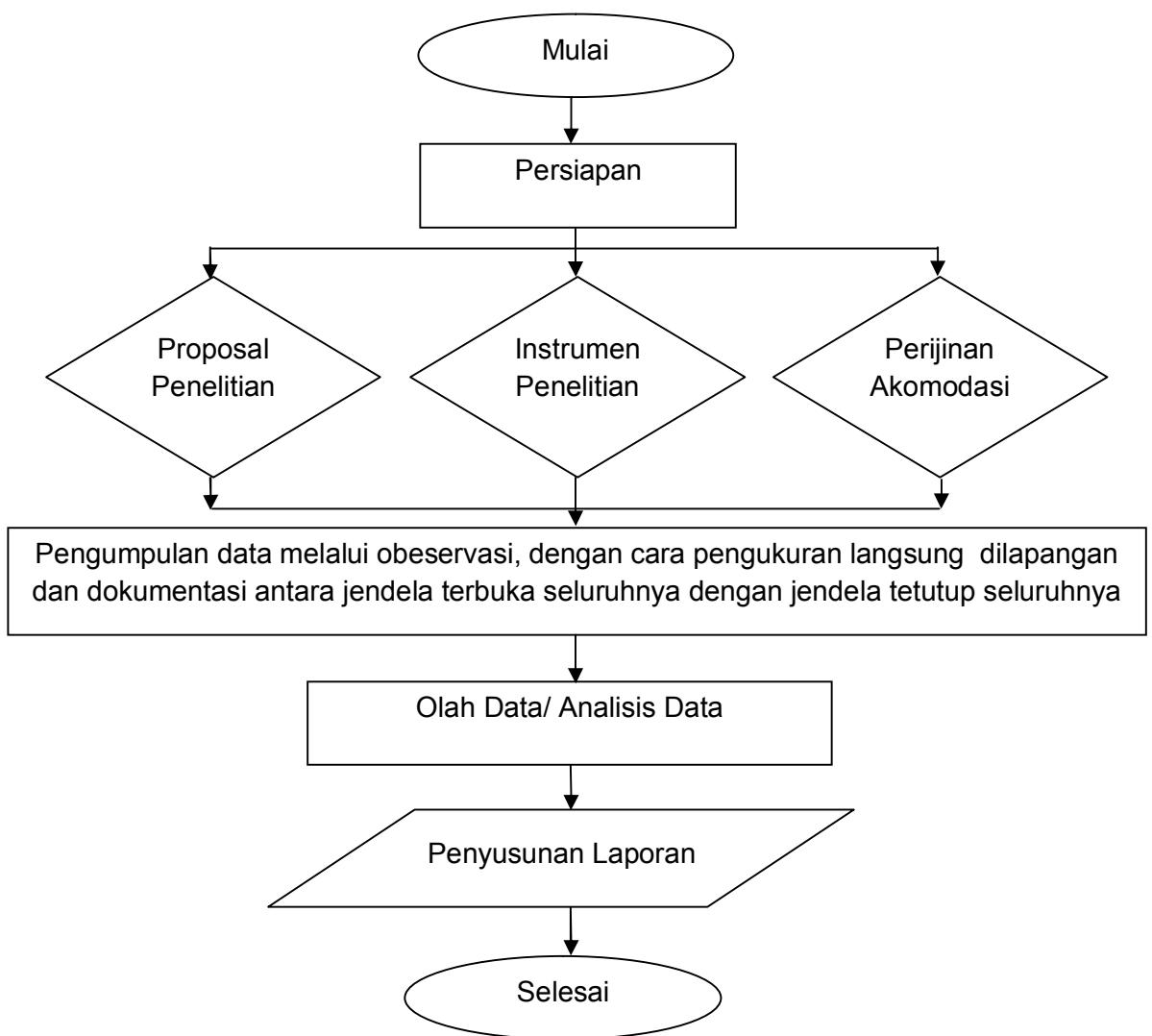
C_{res} = Pertukaran panas konvektif respiratori, W/m²
 E_{res} = Pertukarana panas evaporatif respiratori, W/m²
 T_{sk} = Temperatur kulit, °C
H = Kehilangan panas kering. Kehilangan panas melalui kulit akibat konveksi, radiasi, dan konduksi.

PMV = *Predicted Mean Vote*

PPD = *Predicted Percentage Of Dissatisfied*

Berdasarkan persamaan diatas maka dapat dilihat perhitungan PMV sangat rumit bila dilakukan secara manual. Merujuk pada penelitian Sugini tentang kenyamanan termal menggunakan persamaan PMV, untuk menghitung persamaan PMV dilakukan dengan perangkat lunak *Microsoft Excel* yang sudah di *input* formula persamaan PMV. Perangkat lunak *Microsoft Excel* yang sudah di *input* formula persamaan PMV dapat diunduh secara gratis di website www.tanabe.arch.waseda.ac.jp.

H. Alur Penelitian



Gambar 21. Skema Alur Penelitian
(Sumber: Penulis, 2014)

BAB IV

HASIL PENGUKURAN DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Data

1. Analisa Situasi

Pengukuran ini dilaksanakan di SMK Negeri 2 Pengasih Kulon Progo dimana terletak di Jln. KRT Kertodiningrat, Margosari, Pengasih, Kulon Progo, Yogyakarta. Sekolah ini didirikan pada 25 Maret 1970 dengan nama awal STM Percobaan yang berlokasi di Jln. Diponegoro, Tegal Rejo (saat ini SMP Negeri 1 Wates Unit 2), memiliki 1 jurusan yaitu bangunan, dengan status masih bergabung dengan STM 1 Yogyakarta. Karena berpotensi untuk berkembang lalu tahun 1971 berubah nama menjadi STM N 1 Wates. Tahun 1986 mendapat bantuan dari bank Dunia digunakan untuk membangun STM N 1 Wates di desa Margosari, Pengasih, Kulon Progo. Berdasarkan SK Menteri Pendidikan dan Kebudayaan RI No. 03610/96 pada tanggal 7 Maret 1996 menjadi SMKN 2 Pengasih di Jalan KRT.Kertodiningrat, Pengasih, Kulon Progo

Sekolah ini menempati areal tepat seluas ±4,5 Hektar m² untuk ruang teori, ruang gambar, ruang laboratorium, ruang bengkel praktik, ruang kepala sekolah, ruang kantor, ruang BP, ruang perpustakaan, ruang guru, ruang UKS, ruang ibadah, ruang osis, ruang koperasi, ruang kantin, kamar mandi, gudang, ruang pertemuan aula, lapangan sepak bola, lapangan volley, lapangan tenis, lapangan basket.

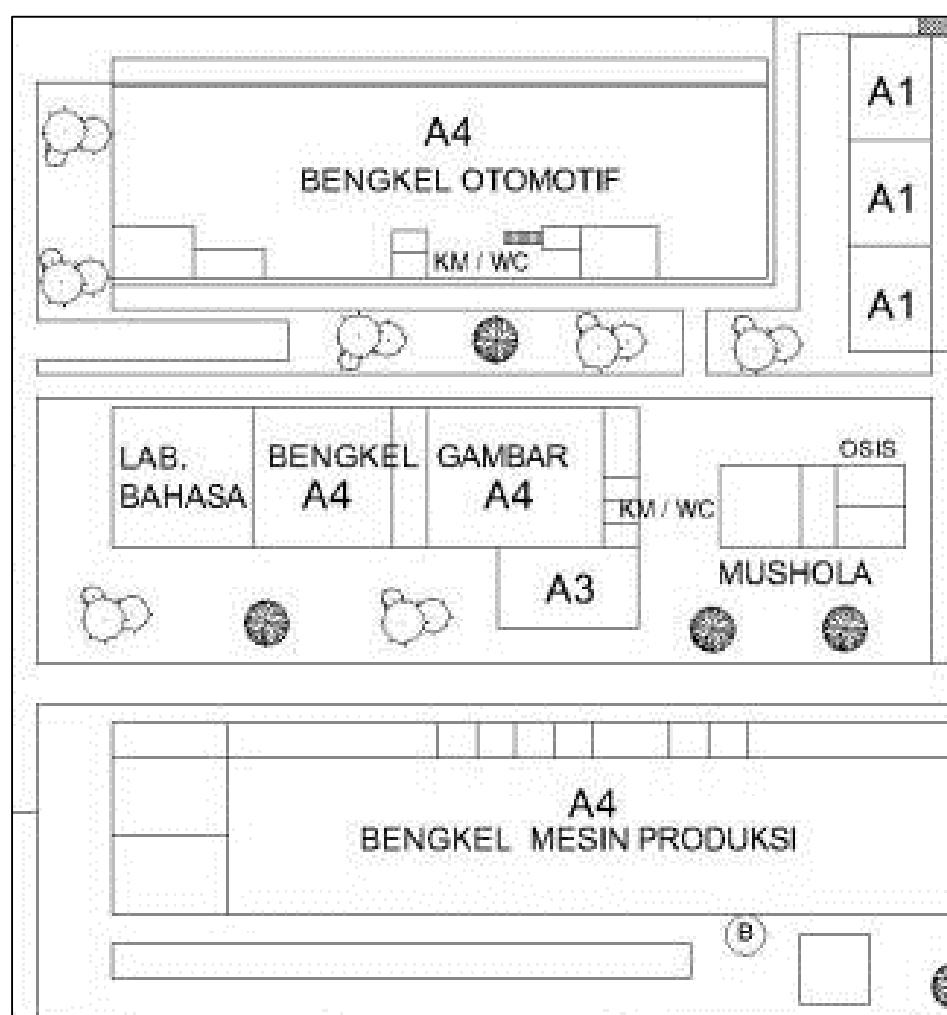
2. Siteplan SMK Negeri 2 Pengasih



Gambar 11. Siteplan SMK Negeri 2 Pengasih
(Sumber: Observasi, 2014)

3. Kondisi Lingkungan

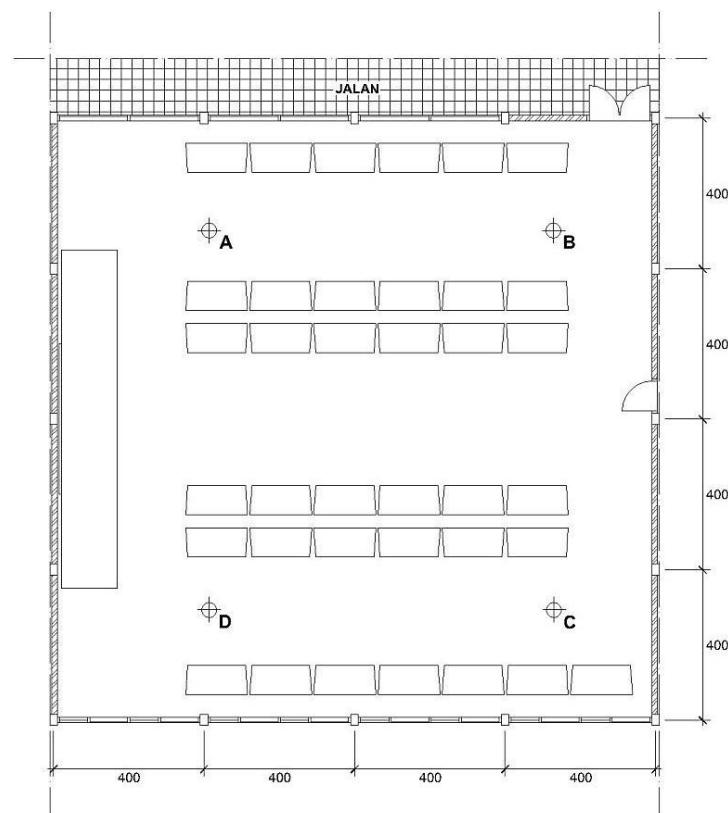
Kondisi lingkungan sekitar ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih sebelah utara adalah bengkel otomotif, sebelah timur adalah mushola, sebelah selatan adalah bengkel mesin, sebelah barat adalah laboratorium bahasa.



Gambar 23. Kondisi Lingkungan Ruang Gambar
(Sumber: Observasi, 2014)

4. Titik pengukuran

Pengukuran dilaksanakan di ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih Yogyakarta, yang terletak disisi barat, dengan mengukur temperatur udara, kelembaban udara, dan kecepatan angin di dalam ruangan.



Gambar 24. Denah Pengukuran dalam Ruang
(Sumber: Pengukuran, 2014)



Gambar 25. Kondisi Ruang Gambar
(Sumber: Pengukuran, 2014)

B. Hasil Observasi

1. Konfigurasi Ruang

Pola perletakan bangunan ruang gambar paket keahlian Teknik Gambar Bangunan terhadap bangunan lain memiliki bentuk menyerupai papan catur, pola seperti ini dapat menciptakan kantung udara disetiap sela bangunan, sehingga udara dapat mengalir secara merata.

Penempatan bangunan yang rapat dan sejajar dapat menimbulkan kantung-kantung turbulensi yang berisi pergerakan udara kecil yang menciptakan pola lompatan yang tidak biasa pada aliran udara.

2. Penutup Tanah

Lingkungan disekitar ruang gambar paket keahlian teknik gambar bangunan SMK Negeri 2 Pengasih terdapat dua jenis elemen penutup tanah, dimana elemen penutup tanah pada bagian depan ruang adalah *paving block* sedangkan elemen penutup tanah bagian belakang ruang adalah rumput.



Gambar 26. Bagian Depan Ruang Gambar
(Sumber: Pengukuran, 2014)



Gambar 27. Bagian Belakang Ruang Gambar
(Sumber: Pengukuran, 2014)

3. Vegetasi

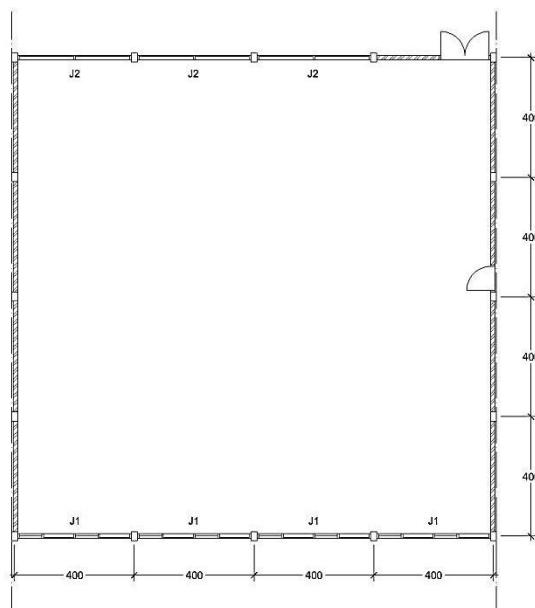
Posisi bangunan yang memanjang arah barat sampai timur mengakibatkan fungsi pohon tidak begitu efektif untuk melindungi ruangan dari sinar ultra violet, karena pancaran sinar matahari tidak langsung masuk kedalam ruangan.

Fungsi elemen vegetasi selain melindungi dari paparan langsung sinar matahari juga berfungsi untuk mengatur aliran udara ke dalam bangunan. Elemen vegetasi yang berada disisi selatan ruang hanya ditanami tanaman-tanaman pendek, tanaman-tanaman pendek ini kurang mampu mengalirkan

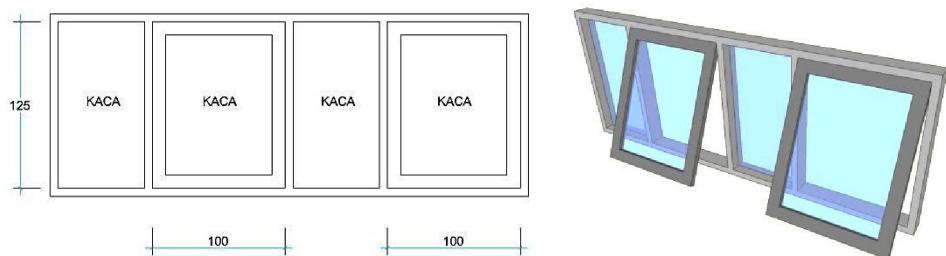
udara dengan baik, sehingga perlu penggantian dengan tanaman atau pohon yang lebih tinggi, selain itu jarak penanaman pohon dengan bangunan diautur dengan jarak yang agak lebar hal ini juga mampu mempengaruhi angin yang berhembus, karena semakin lebar jarak pohon dengan bangunan semakin kencang pula angin yang berhembus.

4. Bukaan Ventilasi

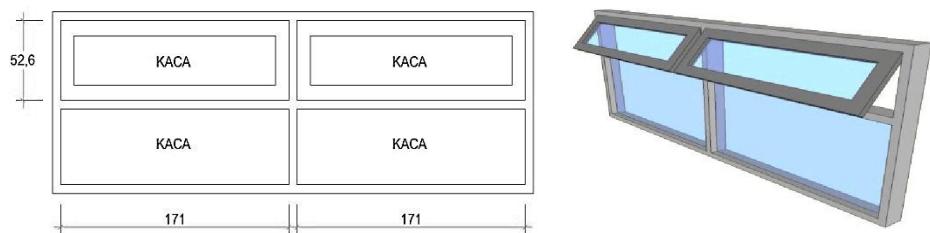
Penempatan ventilasi di ruang gambar paket keahlian Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih sesuai kaidah perancangan sistem ventilasi silang dimana posisi bukaan berada di sisi berlawanan dengan elevasi berbeda, posisi bukaan seperti ini dapat menciptakan pola aliran udara yang bergerak dari inlet ke outlet. Orientasi inlet yang mengarah ke potensi arah datang angin akan mempengaruhi kecepatan udara untuk mencapai kenyamanan termal di dalam bangunan.



Gambar 28. Denah Penempatan Jendela
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2014)

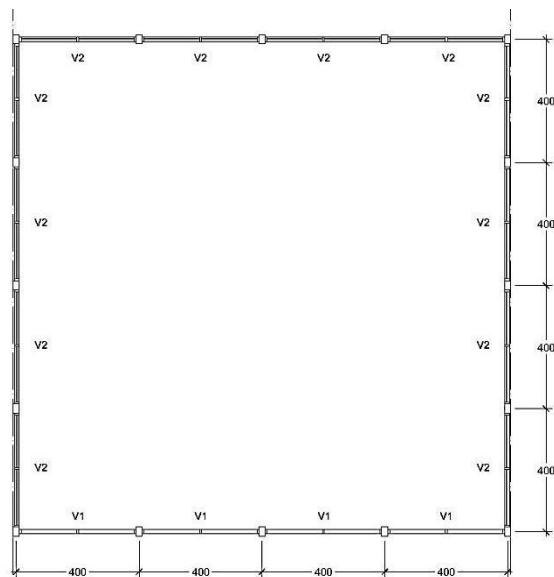


Gambar 29. Detail Jendela 1 (J1)
 (Sumber: Dokumentasi Penulis, 2014)

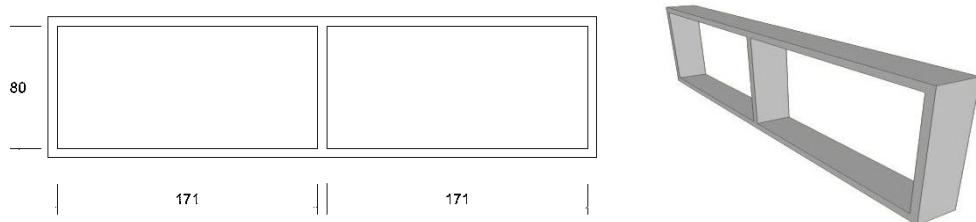


Gambar 30. Detail Jendela 2 (J2)
 (Sumber: Dokumentasi Penulis, 2014)

Bukaan yang ada di ruang gambar Paket Keahlian Teknik Gambar Bangunan bukan hanya jendela saja, bukaan yang lain yaitu ventilasi yang berada di ketinggian 336 cm dari muka lantai.

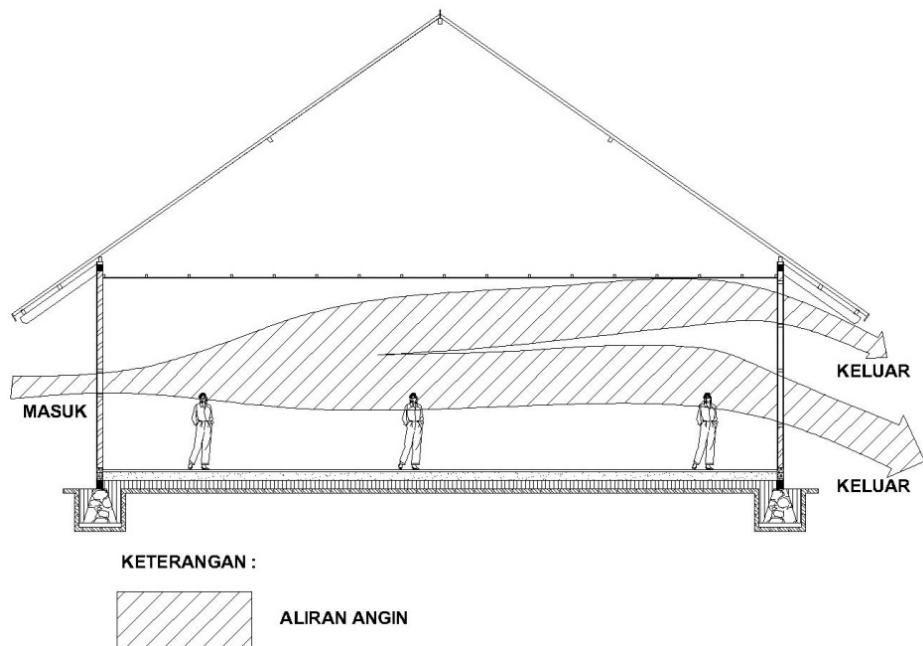


Gambar 31. Denah Penempatan Ventilasi
 (Sumber: Dokumentasi Penulis, 2014)



Gambar 32. Detail Ventilasi (V)
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2014)

Lokasi bukaan udara ruang gambar Paket Keahlian Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih mempunyai elevasi berbeda sehingga aliran udara dapat merata dan mampu memberikan efek aliran udara yang baik pada pengguna di dalamnya, karena aliran udara mengalir pada area aktifitas pengguna.



Gambar 33. Aliran Angin dalam Ruang
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2014)

Dari hasil pengukuran bukaan *inlet* dan *outlet* di ruang gambar Paket Keahlian Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih didapatkan perbandingan rasio peningkatan kecepatan udara yang mengalir sebesar:

$$\begin{aligned} &= (\text{luas outlet J1} + \text{luas Outlet V}) : \text{luas Inlet J2} \\ &= (1000 \text{ cm}^2 + 10944 \text{ cm}^2) : 539,7 \text{ cm}^2 \\ &= 20944 \text{ cm}^2 : 539,7 \text{ cm}^2 \\ &= 38,8 \end{aligned}$$

Rasio peningkatan kecepatan aliran udara adalah 38,8. Nilai tersebut bisa diartikan bahwa terjadi peningkatan udara yang mampu menghasilkan aliran udara yang optimal dalam mencapai tingkat kenyamanan termal.

Desain tipe bukaan udara pada ruang gambar Paket Keahlian Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih menggunakan tipe casement top hung mampu menghasilkan kenyamanan termal meskipun tidak optimal karena pengaruh dari proporsi dimensi inlet terhadap outletnya.



Gambar 34. Tipe Bukaan Menggunakan Casement Top Hung
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2014)

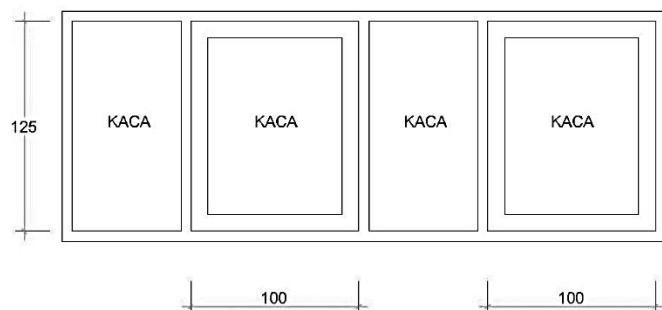
C. Hasil Pengukuran

Dari hasil observasi, pengukuran dan dokumentasi yang telah dilaksanakan selama tiga hari, diperoleh data tentang temperatur udara, kecepatan angin, kelembaban udara, insulasi pakaian siswa dan tingkat

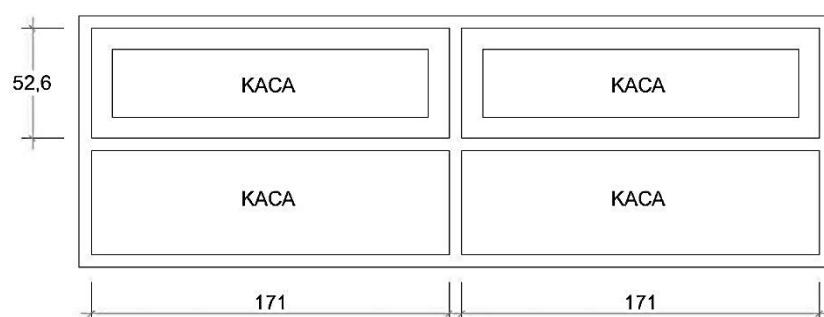
metabolisme siswa diruang gambar dalam keadaan jendela terbuka seluruhnya dan dalam keadaan jendela tertutup seluruhnya sebagai berikut:

1. Ventilasi

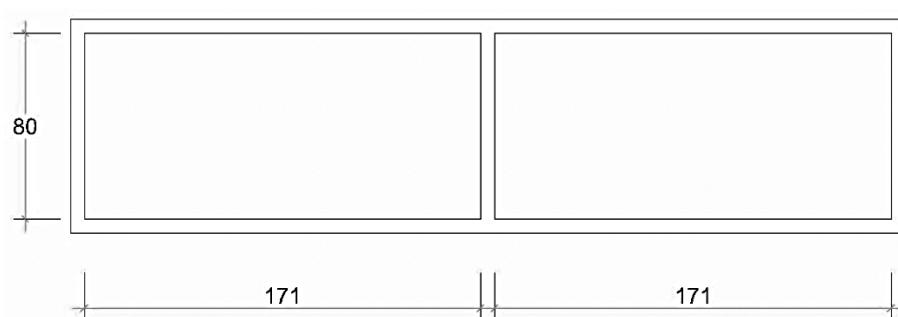
a. Jendela 1



b. Jendela 2



c. Ventilasi



2. Pengukuran Ruang dalam Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya

a. Temperatur Udara

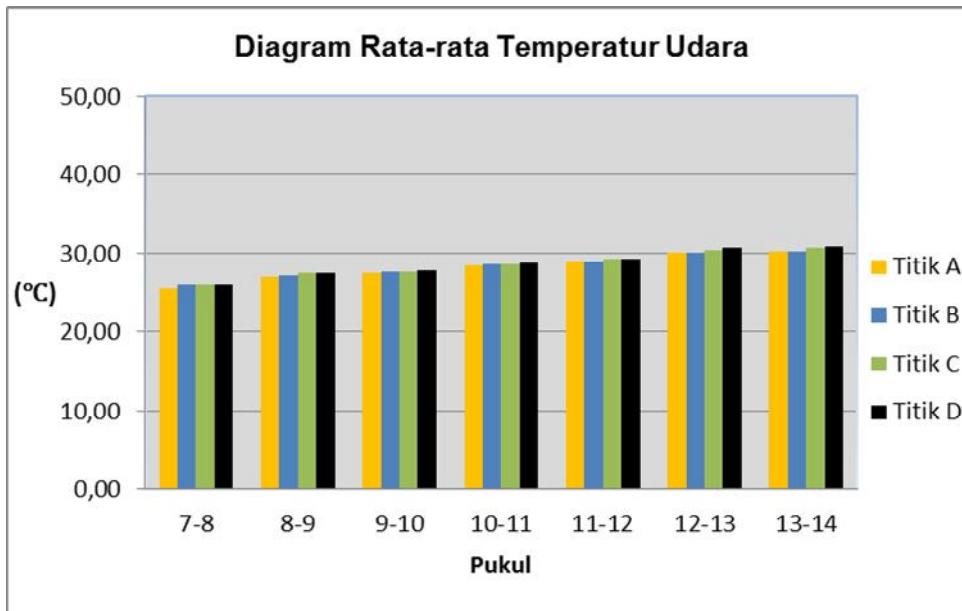
Pengukuran temperatur udara dilakukan selama tiga hari mulai pukul tujuh pagi sampai pukul dua siang. Untuk mendapatkan data valid mengenai temperatur udara, posisi pengukuran dilakukan di empat titik yang berbeda didalam ruang.

Tabel 11. Rata-rata Hasil Pengukuran Temperatur Udara Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya

Pukul	Temperatur Udara (°C)			
	Titik A	Titik B	Titik C	Titik D
07.00-08.00	25,54	25,92	25,98	25,97
08.00-09.00	26,90	27,13	27,42	27,41
09.00-10.00	27,44	27,54	27,69	27,74
10.00-11.00	28,43	28,55	28,60	28,81
11.00-12.00	28,93	28,98	29,23	29,22
12.00-13.00	30,08	30,07	30,43	30,68
13.00-14.00	30,17	30,21	30,64	30,87
Rata-rata	28,21	28,34	28,57	28,67

(Sumber: Pengukuran, 2014)

Dari tabel diatas, dapat dilihat temperatur udara terendah mulai pukul 07.00 sampai 14.00 pada titik A dengan suhu rata-rata 28,21°C, sedangkan temperatur udara tertinggi pada titik D dengan suhu rata-rata 28,67°C.



Gambar 35. Diagram Rata-rata Temperatur Udara Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya
 (Sumber: Pengukuran, 2014)

Diagram diatas menunjukkan bahwa kecenderungan temperatur udara pada semua titik dalam ruangan semakin lama semakin tinggi, dikarenakan pengaruh dari radiasi matahari.

b. Kecepatan Angin

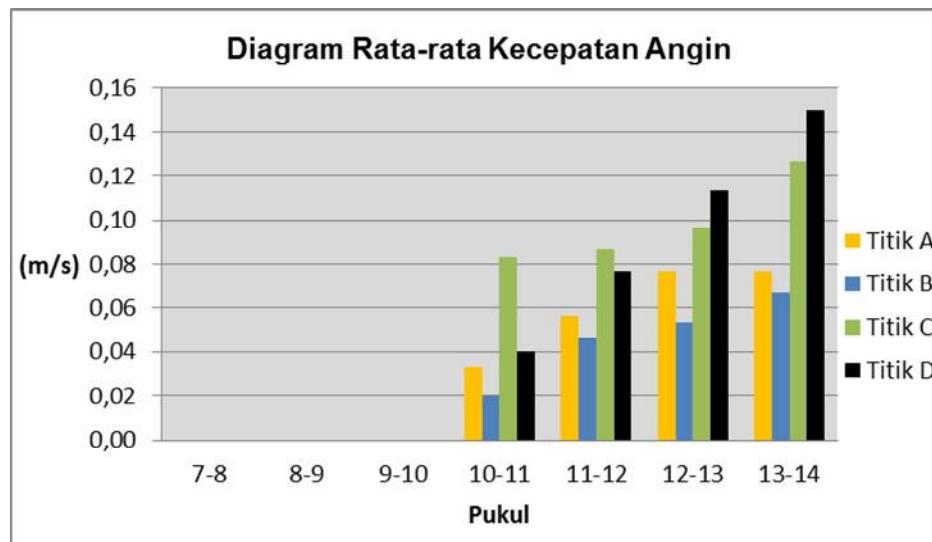
Pengukuran kecepatan angin dilakukan selama tiga hari mulai pukul tujuh pagi sampai pukul dua siang. Untuk mendapatkan data valid mengenai kecepatan angin, posisi pengukuran dilakukan di empat titik yang berbeda didalam ruang.

Tabel 12. Rata-rata Hasil Pengukuran Kecepatan Angin Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya

Pukul	Kecepatan Angin (m/s)			
	Titik A	Titik B	Titik C	Titik D
07.00-08.00	0,00	0,00	0,00	0,00
08.00-09.00	0,00	0,00	0,00	0,00
09.00-10.00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.00-11.00	0,03	0,02	0,08	0,04
11.00-12.00	0,06	0,05	0,09	0,08
12.00-13.00	0,08	0,05	0,10	0,11
13.00-14.00	0,08	0,07	0,13	0,15
Rata-rata	0,03	0,03	0,06	0,05

(Sumber: Pengukuran, 2014)

Dari tabel diatas, dapat dilihat pukul 07.00 sampai pukul 10.00 angin yang berhembus di dalam ruangan tidak ada sama sekali, angin mulai berhembus ke dalam ruangan diatas pukul 10. Pencatatan hasil pengukuran di dalam ruangan, didapatkan kecepatan angin terendah mulai pukul 07.00 sampai 14.00 pada titik A dan B dengan kecepatan rata-rata 0,03 m/s, sedangkan kecepatan angin tertinggi pada titik C dengan kecepatan rata-rata 0,06 m/s.



Gambar 36. Diagram Rata-rata Kecepatan Angin Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya
(Sumber: Pengukuran, 2014)

Diagram rata-rata kecepatan angin menunjukkan bahwa, pukul 07.00 sampai dengan pukul 10.00 angin yang berhembus di dalam ruangan tidak ada sama sekali, angin mulai berhembus ke dalam ruangan diatas pukul 10.00. Rata-rata kecepatan angin pada semua titik dalam ruangan semakin siang semakin tinggi.

c. Kelembaban Udara

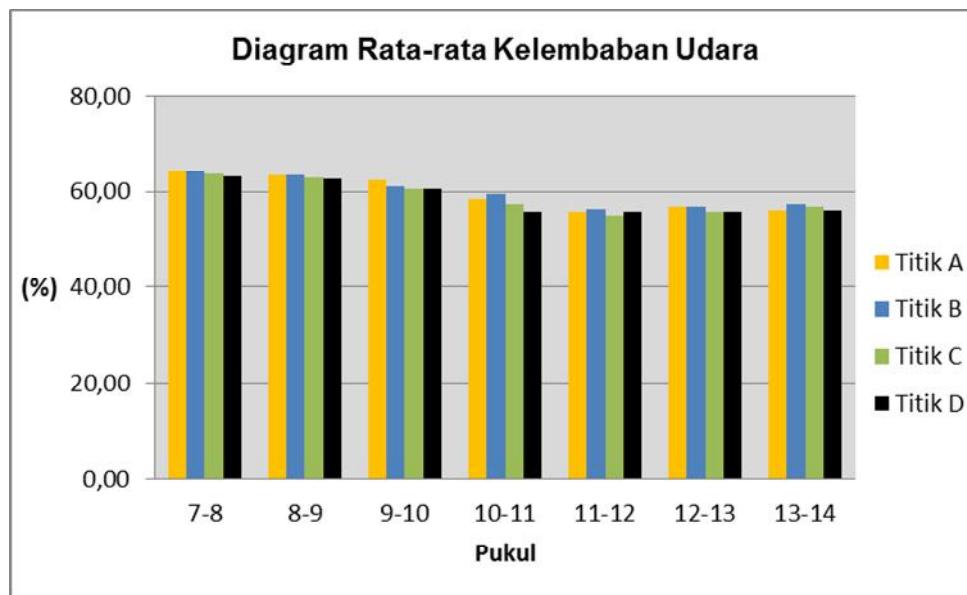
Pengukuran kelembaban udara dilakukan selama tiga hari mulai pukul tujuh pagi sampai pukul dua siang. Untuk mendapatkan data valid mengenai kelembaban udara, posisi pengukuran dilakukan di empat titik yang berbeda didalam ruang.

Tabel 13. Rata-rata Hasil Pengukuran Kelembaban Udara Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya

Pukul	Kelembaban Udara (%)			
	Titik A	Titik B	Titik C	Titik D
07.00-08.00	64,36	64,23	63,91	63,20
08.00-09.00	63,47	63,54	63,08	62,59
09.00-10.00	62,39	61,12	60,68	60,50
10.00-11.00	58,46	59,45	57,40	55,72
11.00-12.00	55,77	56,34	55,03	55,71
12.00-13.00	56,96	56,81	55,77	55,72
13.00-14.00	55,97	57,35	56,71	55,96
Rata-rata	59,63	59,83	58,94	58,48

(Sumber: Pengukuran, 2014)

Dari tabel diatas, dapat dilihat kelembaban udara terendah mulai pukul 07.00 sampai 14.00 pada titik D dengan kelembaban rata-rata 58,48%, sedangkan kelembaban udara tertinggi pada titik B dengan kelembaban rata-rata 59,83%



Gambar 37. Diagram Rata-rata Kelembaban Udara Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya
 (Sumber: Pengukuran, 2014)

Diagram rata-rata kelembaban udara diatas menunjukkan bahwa kecenderungan kelembaban udara pada semua titik dalam ruangan semakin lama semakin kecil atau rendah, hal ini menunjukkan bahwa kadar air dalam udara semakin lama semakin sedikit.

3. Pengukuran Ruang dalam Keadaan Jendela Tertutup Seluruhnya

a. Temperatur Udara

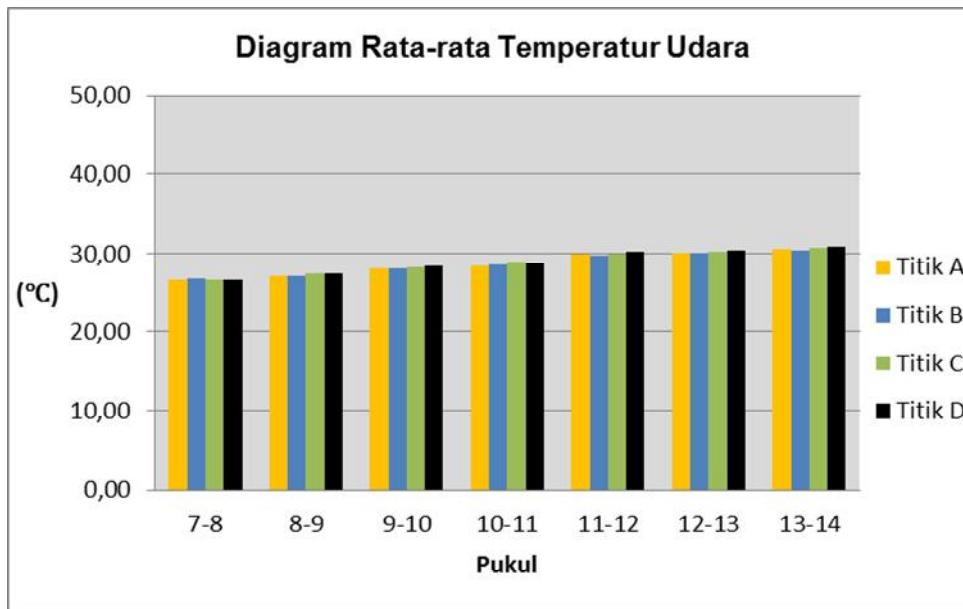
Pengukuran temperatur udara dilakukan selama tiga hari mulai pukul tujuh pagi sampai pukul dua siang. Untuk mendapatkan data valid mengenai temperatur udara, posisi pengukuran dilakukan di empat titik yang berbeda didalam ruang.

Tabel 14. Rata-rata Hasil Pengukuran Temperatur Udara Keadaan Jendela Tertutup Seluruhnya

Pukul	Temperatur Udara (°C)			
	Titik A	Titik B	Titik C	Titik D
07.00-08.00	26,67	26,76	26,67	26,64
08.00-09.00	27,12	27,20	27,42	27,50
09.00-10.00	28,18	28,12	28,28	28,36
10.00-11.00	28,49	28,60	28,93	28,81
11.00-12.00	29,88	29,73	29,97	30,20
12.00-13.00	30,08	30,02	30,26	30,35
13.00-14.00	30,52	30,41	30,75	30,89
Rata-rata	28,71	28,69	28,90	28,96

(Sumber: Pengukuran, 2014)

Dari tabel diatas, dapat dilihat temperatur udara terendah mulai pukul 07.00 sampai pukul 14.00 pada titik B dengan suhu rata-rata 28,69°C, sedangkan temperatur udara tertinggi pada titik D dengan suhu rata-rata 28,96°C.



Gambar 38. Diagram Rata-rata Temperatur Udara Keadaan Jendela Tertutup Seluruhnya
(Sumber: Pengukuran, 2014)

Diagram diatas menunjukkan bahwa kecenderungan temperatur udara pada semua titik dalam ruangan semakin lama semakin tinggi, dikarenakan pengaruh dari radiasi matahari.

b. Kecepatan Angin

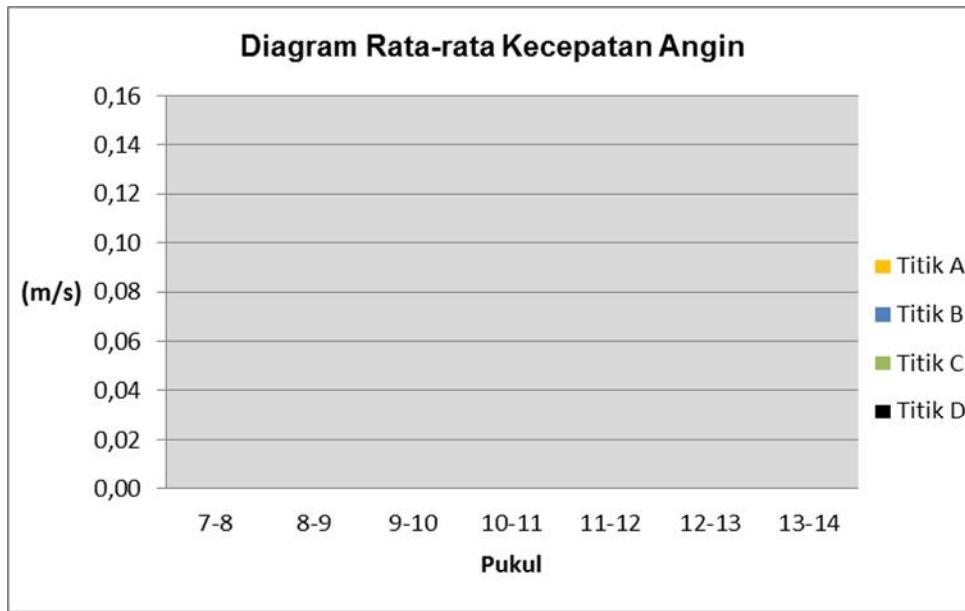
Pengukuran kecepatan angin dilakukan selama tiga hari mulai pukul tujuh pagi sampai pukul dua siang. Untuk mendapatkan data valid mengenai kecepatan angin, posisi pengukuran dilakukan di empat titik yang berbeda didalam ruang.

Tabel 15. Rata-rata Hasil Pengukuran Kecepatan Angin Keadaan Jendela tertutup Seluruhnya

Pukul	Kecepatan Angin (m/s)			
	Titik A	Titik B	Titik C	Titik D
07.00-08.00	0,00	0,00	0,00	0,00
08.00-09.00	0,00	0,00	0,00	0,00
09.00-10.00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.00-11.00	0,00	0,00	0,00	0,00
11.00-12.00	0,00	0,00	0,00	0,00
12.00-13.00	0,00	0,00	0,00	0,00
13.00-14.00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rata-rata	0,00	0,00	0,00	0,00

(Sumber: Pengukuran, 2014)

Dari tabel diatas dapat dilihat, pengukuran kecepatan angin saat jendela tertutup seluruhnya mulai pukul 07.00 sampai pukul 14.00, angin yang berhembus di dalam ruangan tidak ada sama sekali. Pengukuran merasa masih ada angin yang berhembus di dalam ruangan walaupun kecil, akan tetapi alat ukur *anemometer* tidak mampu membaca angin yang berhembus, karena intensitas kecepatannya sangat kecil.



Gambar 39. Diagram Rata-rata Kecepatan angin Keadaan Jendela Tertutup Seluruhnya
 (Sumber: Pengukuran, 2014)

Diagram rata-rata kecepatan angin diatas menunjukkan bahwa, tidak ada angin yang berhembus ataupun tercatat oleh alat ukur *anemometer* mulai pukul 07.00 sampai pukul 14.00, dikarenakan intensitas angin yang berhembus terlalu kecil.

c. Kelembaban Udara

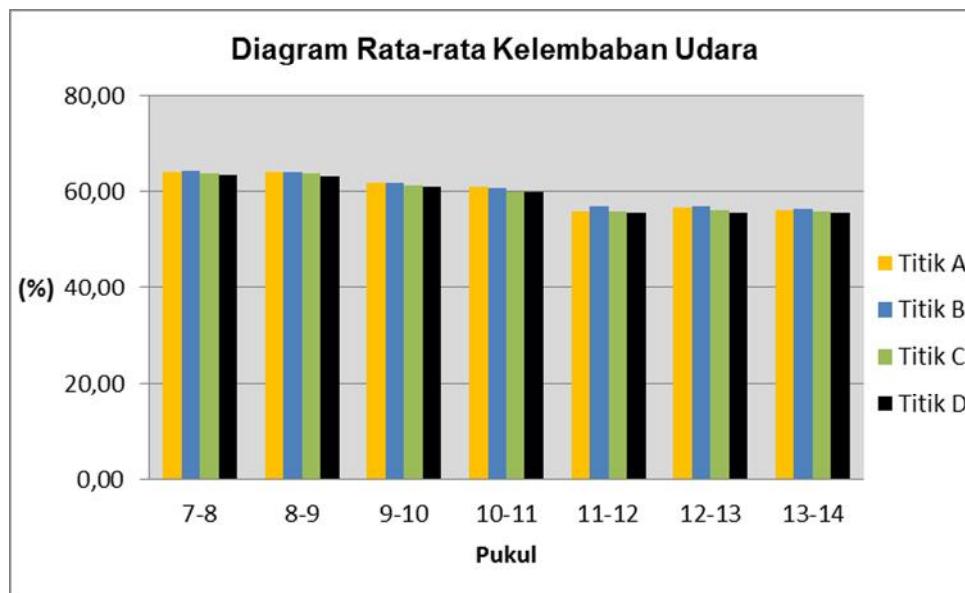
Pengukuran kelembaban udara dilakukan selama tiga hari mulai pukul tujuh pagi sampai pukul dua siang. Untuk mendapatkan data valid mengenai kelembaban udara, posisi pengukuran dilakukan di empat titik yang berbeda didalam ruang.

Tabel 16. Rata-rata Hasil Pengukuran Kelembaban Udara Keadaan Jendela Tertutup Seluruhnya

Pukul	Kelembaban Udara (%)			
	Titik A	Titik B	Titik C	Titik D
07.00-08.00	64,06	64,34	64,05	63,40
08.00-09.00	64,32	64,20	63,90	63,22
09.00-10.00	61,75	61,67	61,14	60,87
10.00-11.00	60,93	60,80	59,96	59,84
11.00-12.00	55,99	57,10	55,83	55,78
12.00-13.00	56,80	57,13	56,26	55,55
13.00-14.00	56,23	56,51	55,96	55,74
Rata-rata	60,01	60,25	59,58	59,20

(Sumber: Pengukuran, 2014)

Dari tabel diatas, dapat dilihat kelembaban udara terendah mulai pukul 07.00 sampai 14.00 pada titik D dengan kelembaban rata-rata 59,20%, sedangkan kelembaban udara tertinggi pada titik B dengan kelembaban rata-rata 60,25%.



. Gambar 40. Diagram Rata-rata Kelembaban Udara Keadaan Jendela Tertutup Seluruhnya
(Sumber: Pengukuran, 2014)

Diagram rata-rata kelembaban udara diatas menunjukkan bahwa kecenderungan kelembaban udara pada semua titik dalam ruangan semakin lama semakin rendah.

4. Insulasi Pakaian

Insulasi pakaian yang digunakan siswa didapat dari hasil pengamatan secara langsung di ruangan dengan cara melihat sekilas jenis pakaian yang digunakan, kemudian membandingkan hasil pengamatan dengan standar peraturan yang memuat tentang nilai insulasi pakaian.



. Gambar 41. Pakaian yang Digunakan Siswa
(Sumber: Obeservasi, 2014)

Tabel 17. Nilai Insulasi Pakaian Siswa

No	Jenis Pakaian	Clo
1	Pakaian lengan pendek	0,09
2	Celana dalam	0,04
3	Celana panjang normal	0,20
Jumlah		0,33

(Sumber: Dokumentasi, 2014)

5. Nilai Metabolisme

Nilai metabolisme siswa didapat dari hasil pengamatan secara langsung di ruangan, dengan cara melihat sekilas aktivitas siswa, kemudian membandingkan hasil pengamatan dengan standar peraturan yang memuat nilai metabolisme.



Gambar 42. Aktivitas Siswa di Ruang Gambar
(Sumber: Observasi, 2014)

Aktifitas siswa di ruangan termasuk dalam kategori aktivitas sedentari (kantor, sekolah, hunian, laboratorium), sehingga nilai metabolisme siswa di ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih adalah 1,2.

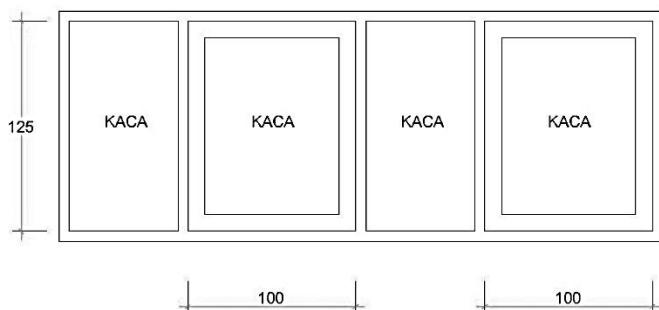
D. Pembahasan

Kenyamanan termal pada ruang gambar program studi Teknik gambar bangunan SMK Negeri 2 pengasih diukur menggunakan indeks kenyamanan termal PMV (*Predicted Mean Vote*).PMV merupakan indeks yang dikenalkan oleh Professor Fanger dari University of Denmark yang mengindikasikan sensasi termal dingin (*cold*) dan panas (*hot*) yang dirasakan oleh manusia pada skala -3 sampai +3.

Untuk mendapatkan skala dan sensasi termal pada ruangan terlebih dahulu dilakukan pengukuran temperatur udara,kecepatan angin, dan kelembaban udara selama tiga hari berturut-turut pada keadaan jendela terbuka seluruhnya dan jendela tertutup seluruhnya.

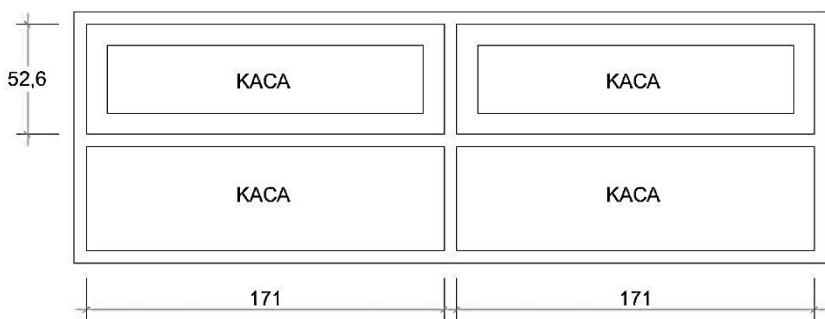
1. Ventilasi

a. Jendela 1



$$\begin{aligned}\text{Luas Persegi Panjang} &= (p \times l) \times 2 \\ &= (125 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}) \times 2 \\ &= 25000 \text{ cm}^2 \\ &= 2,5 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Seluruh Jendela} &= 4 \times 2,5 \text{ m}^2 \\ &= 10 \text{ m}^2\end{aligned}$$

b. Jendela 2

$$\begin{aligned}\text{Luas Persegi Panjang} &= (p \times l) \times 2 \\ &= (171 \text{ cm} \times 52,6 \text{ cm}) \times 2 \\ &= 17989,2 \text{ cm}^2 \\ &= 1,8 \text{ m}^2 \\ \text{Luas Seluruh Jendela} &= 3 \times 1,8 \text{ m}^2 \\ &= 5,4 \text{ m}^2\end{aligned}$$

c. Ventilasi

$$\begin{aligned}\text{Luas Persegi Panjang} &= (p \times l) \times 2 \\ &= (171 \text{ cm} \times 80 \text{ cm}) \times 2 \\ &= 27360 \text{ cm}^2 \\ &= 2,736 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Seluruh Jendela} &= 4 \times 2,736 \text{ m}^2 \\
 &= 10,95 \text{ m}^2 \\
 \text{Luas Bukaan Seluruhnya} &= \text{Jendela 1 + Jendela 2 + Ventilasi} \\
 &= 10 + 5,4 + 10,95 \\
 &= 26,35 \text{ m}^2 \\
 \text{Luas Lantai Ruangan} &= 16 \times 16 \\
 &= 256 \text{ m}^2 \\
 \text{Persentase Bukaan Jendela} &= \frac{26,35}{256} \times 100 \\
 &= 10,2929 \% \\
 &= 10,3 \%
 \end{aligned}$$

Luas seluruh bukaan yang dapat digunakan sebagai sirkulasi udara adalah 10,3%. Berdasarkan perhitungan di atas, maka sirkulasi udara di ruang gambar Paket Keahlian Teknik gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih memenuhi standar.

2. Indeks Kenyamanan Termal PMV dalam Keadaan Jendela Terbuka

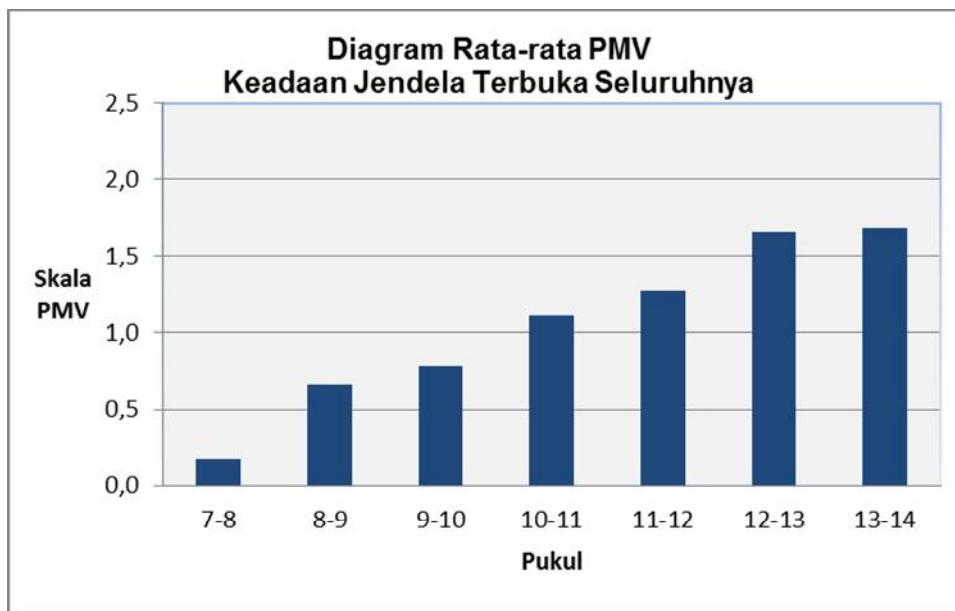
Seluruhnya

Dari hasil pengukuran temperatur udara, kecepatan angin, dan kelembaban udara, serta observasi untuk mengetahui nilai insulasi dan nilai metabolisme siswa di ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih mulai pukul 07.00 sampai dengan pukul 14.00, didapatkan nilai rata-rata pengukuran semua titik selama tiga hari. Selanjutnya nilai rata-rata hasil pengukuran selama tiga hari dihitung dengan persamaan PMV.

Tabel 18. Nilai Rata-rata PMV Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya

Pukul	Temperatur	Temperatur	Kecepatan	Kelembaban	Insulasi	Tingkat	PMV	Sensasi Termal
	Udara	Radiasi	Angin	Udara	Pakaian	Metabolisme		
	(°C)	(°C)	(m/s)	(%)	(clo)	(met)		
07.00-08.00	25,85	25,85	0,00	63,93	0,33	1,2	0,18	Netral
08.00-09.00	27,21	27,21	0,00	63,17	0,33	1,2	0,66	Agak Hangat
09.00-10.00	27,61	27,61	0,00	61,17	0,33	1,2	0,79	Agak Hangat
10.00-11.00	28,60	28,60	0,04	57,76	0,33	1,2	1,12	Agak Hangat
11.00-12.00	29,09	29,09	0,07	55,71	0,33	1,2	1,27	Agak Hangat
12.00-13.00	30,31	30,31	0,09	56,32	0,33	1,2	1,66	Hangat
13.00-14.00	30,47	30,47	0,11	56,50	0,33	1,2	1,68	Hangat

(Sumber: Pengukuran, 2014)



Gambar 43. Diagram Rata-rata PMV Keadaan Jendela Terbuka Seluruhnya
(Sumber: Pengukuran, 2014)

Dari diagram rata-rata PMV keadaan jendela terbuka seluruhnya dapat dilihat, indeks Kenyamanan termal PMV pada ruang gambar mulai pukul 07.00 sampai dengan 14.00 meningkat menuju arah panas, dengan demikian bisa dikatakan sensasi termal yang dirasakan siswa dalam ruang gambar semakin lama semakin tidak nyaman. Indeks Kenyamanan termal PMV yang masuk dalam zona nyaman adalah pengukuran pada pukul 7 sampai dengan pukul 8 yaitu 0,18 skala PMV.

3. Indeks Kenyamanan Termal PMV dalam Keadaan Jendela Tertutup

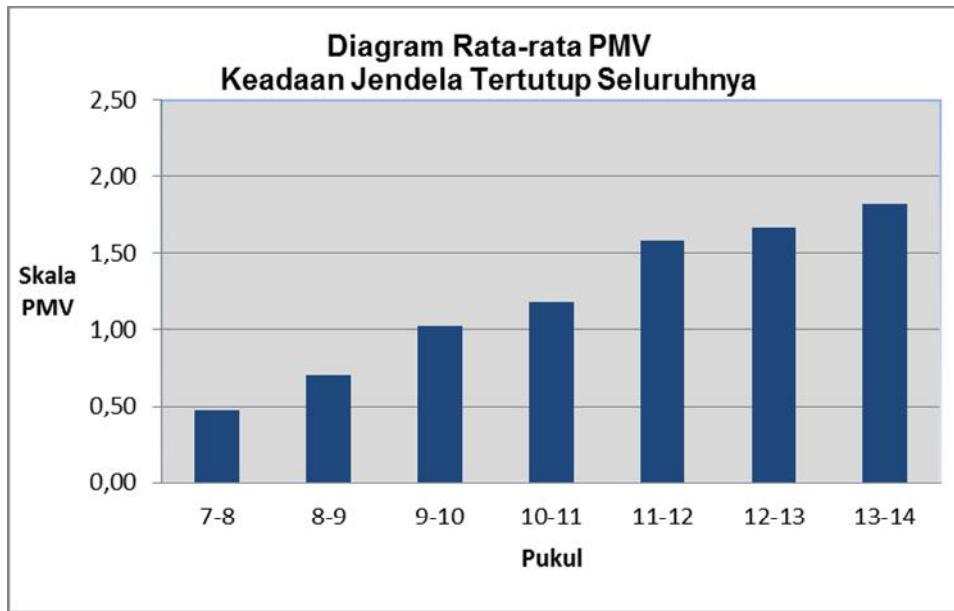
Seluruhnya

Dari hasil pengukuran serta observasi di ruang gambar Program Studi Teknik Gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih mulai pukul 07.00 sampai dengan pukul 14.00, didapatkan nilai rata-rata pengukuran semua titik selama tiga hari. Selanjutnya nilai rata-rata hasil pengukuran selama tiga hari dihitung dengan persamaan PMV.

Tabel 19. Nilai Rata-rata PMV Keadaan Jendela Tertutup Seluruhnya

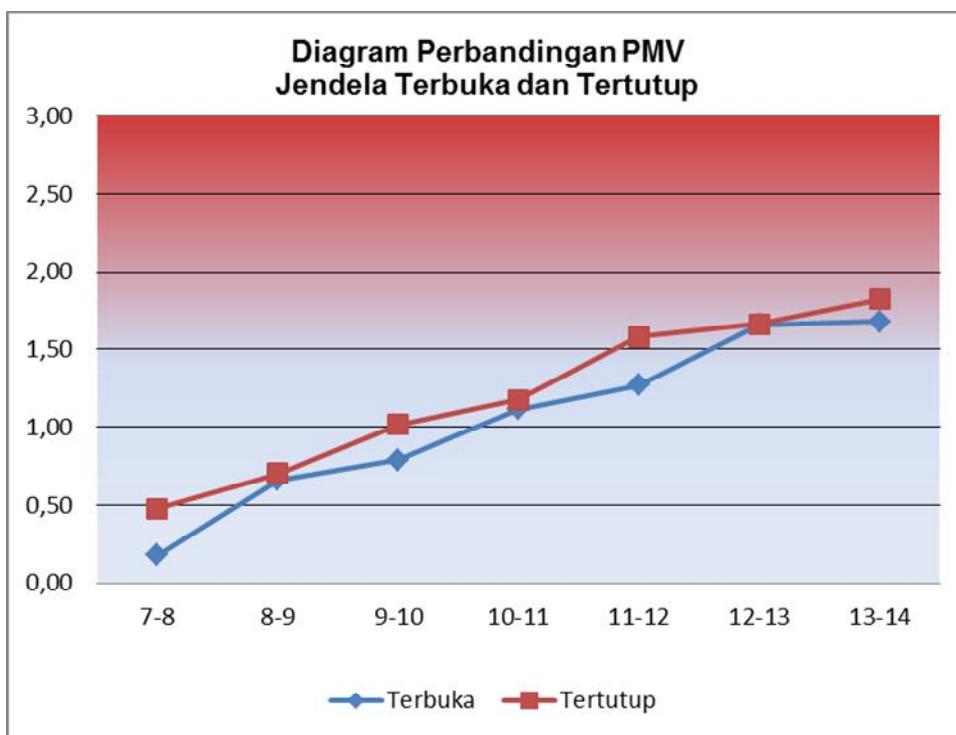
Pukul	Temperatur	Temperatur	Kecepatan	Kelembaban	Insulasi	Tingkat	PMV	Sensasi Termal
	Udara	Radiasi	Angin	Udara	Pakaian	Metabolisme		
	(°C)	(°C)	(m/s)	(%)	(clo)	(met)		
07.00-08.00	26,68	26,68	0,00	63,96	0,33	1,2	0,48	Netral
08.00-09.00	27,31	27,31	0,00	63,91	0,33	1,2	0,70	Agak Hangat
09.00-10.00	28,24	28,24	0,00	61,36	0,33	1,2	1,02	Agak Hangat
10.00-11.00	28,71	28,71	0,00	60,38	0,33	1,2	1,18	Agak Hangat
11.00-12.00	29,94	29,94	0,00	56,18	0,33	1,2	1,58	Hangat
12.00-13.00	30,18	30,18	0,00	56,43	0,33	1,2	1,66	Hangat
13.00-14.00	30,64	30,64	0,00	56,11	0,33	1,2	1,82	Hangat

(Sumber: Pengukuran, 2014)



Gambar 44. Diagram Rata-rata PMV Keadaan Jendela Tertutup Seluruhnya
 (Sumber: Pengukuran, 2014)

Dari diagram rata-rata PMV keadaan jendela tertutup seluruhnya dapat dilihat, indeks kenyamanan termal PMV pada ruang gambar mulai pukul 07.00 sampai dengan 14.00 meningkat menuju arah panas, dengan demikian bisa dikatakan sensasi termal yang dirasakan siswa dalam ruang gambar semakin lama semakin tidak nyaman. Indeks kenyamanan termal PMV yang masuk dalam zona nyaman adalah pengukuran pada pukul 7 sampai dengan pukul 8 yaitu 0,48 skala PMV.



Gambar 45. Diagram Perbandingan PMV Jendela Terbuka dan Tertutup
(Sumber: Pengukuran, 2014)

Dari diagram diatas, indeks kenyamanan termal PMV keadaan jendela terbuka dan tertutup memiliki kesamaan, yaitu semakin lama indeks Kenyamanan termal PMV di dalam ruang gambar semakin tinggi. Hasil pengukuran yang dilakukan mulai pukul 07.00 sampai pukul 14.00 didapatkan indeks Kenyamanan termal PMV yang masuk dalam zona nyaman baik keadaan jendela terbuka seluruhnya maupun tertutup seluruhnya adalah saat pengukuran pertama yaitu pukul 07.00 sampai pukul 08.00. Rata-rata selisih indeks kenyamanan termal PMV pukul 07.00 sampai pukul 14.00 antara jendela terbuka seluruhnya dengan jendela tertutup seluruhnya adalah 0,16.

4. Perbedaan jendela terbuka seluruhnya dengan jendela tertutup seluruhnya terhadap kualitas termal

a. Temperatur Udara

Tabel 20. Rata-rata Temperatur Udara Keadaan Jendela Terbuka dengan Jendela Tertutup Seluruhnya

Waktu	Terbuka	Tertutup
07.00-08.00	25,85	26,68
08.00-09.00	27,21	27,31
09.00-10.00	27,61	28,24
10.00-11.00	28,60	28,71
11.00-12.00	29,09	29,94
12.00-13.00	30,31	30,18
13.00-14.00	30,47	30,64
Rata-rata	28,45	28,81

(Sumber: Pengukuran, 2014)

Dari hasil tabel rata-rata temperatur udara keadaan jendela terbuka seluruhnya dengan tertutup seluruhnya didapatkan selisih $0,36^{\circ}\text{C}$, hal ini menindikasikan bahwa ada pengaruh antara jendela terbuka seluruhnya dengan tertutup seluruhnya namun tidak signifikan.

b. Kecepatan Angin

Tabel 21. Rata-rata Kecepatan Angin Keadaan Jendela Terbuka dengan Jendela Tertutup Seluruhnya

Waktu	Terbuka	Tertutup
07.00-08.00	0,00	0,00
08.00-09.00	0,00	0,00
09.00-10.00	0,00	0,00
10.00-11.00	0,04	0,00
11.00-12.00	0,07	0,00
12.00-13.00	0,09	0,00
13.00-14.00	0,11	0,00
Rata-rata	0,04	0,00

(Sumber: Pengukuran, 2014)

Dari hasil tabel rata-rata kecepatan angin keadaan jendela terbuka seluruhnya dengan tertutup seluruhnya didapatkan selisih 0,04 m/s, hal ini menindikasikan bahwa ada pengaruh antara jendela terbuka seluruhnya dengan tertutup seluruhnya namun tidak signifikan.

c. Kelembaban Udara

Tabel 22. Rata-rata Kelembaban Udara Keadaan Jendela Terbuka dengan Jendela Tertutup Seluruhnya

Waktu	Terbuka	Tertutup
07.00-08.00	0,00	0,00
08.00-09.00	0,00	0,00
09.00-10.00	0,00	0,00
10.00-11.00	0,04	0,00
11.00-12.00	0,07	0,00
12.00-13.00	0,09	0,00
13.00-14.00	0,11	0,00
Rata-rata	0,04	0,00

(Sumber: Pengukuran, 2014)

Dari hasil tabel rata-rata kelembaban udara keadaan jendela terbuka seluruhnya dengan tertutup seluruhnya didapatkan selisih 0,54 %, hal ini menindikasikan bahwa ada pengaruh antara jendela terbuka seluruhnya dengan tertutup seluruhnya namun tidak signifikan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

I. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah disajikan di depan, kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Luas bukaan ventilasi di ruang gambar Paket Keahlian Teknik gambar Bangunan SMK Negeri 2 Pengasih memenuhi standar.
2. Indeks kenyamanan termal PMV rata-rata ruang gambar program studi teknik gambar bangunan SMK Negeri 2 Pengasih keadaan jendela terbuka seluruhnya yang masuk dalam zona nyaman hanya pukul 07.00 dengan indeks PMV 0,18, sedangkan pukul 08.00, 09.00, 10.00, 11.00, 12.00, 13.00, 14.00 indeks PMV sudah keluar dari zona nyaman. Indeks kenyamanan termal PMV rata-rata ruang gambar program studi teknik gambar bangunan SMK Negeri 2 Pengasih keadaan jendela tertutup seluruhnya yang masuk dalam zona nyaman hanya pukul 07.00 dengan indeks PMV 0,48, sedangkan pukul 08.00, 09.00, 10.00, 11.00, 12.00, 13.00, 14.00 indeks PMV sudah keluar dari zona nyaman
3. Perbedaan jendela terbuka seluruhnya dengan jendela tertutup seluruhnya terhadap kualitas termal untuk temperatur udara adalah $0,36^{\circ}\text{C}$, untuk kecepatan angin adalah 0,04 m/s, untuk kelembaban udara adalah 0,54 %.
4. Berdasarkan faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal baik dari luar ruangan maupun luar ruangan melalui konfigurasi perletakan bangunan terhadap pergerakan angin, elemen penutup tanah, elemen vegetasi yang ditanam di sekitar bangunan, dan perletakan ventilasi sudah memenuhi

kriteria, namun indeks kenyamanan termal PMV pukul 08.00 sampai 14.00 masih diluar zona nyamanan PMV. Untuk mengkondisikan ruangan agar nyaman diperlukan pergerakan udara menggunakan kipas angin.

J. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan mengikuti prosedur yang ada, namun demikian masih terdapat beberapa keterbatasan, antara lain:

1. Dengan terbatasnya jenis alat dan waktu, peneliti hanya dapat mengukur temperatur udara, kecepatan angin, dan kelembaban udara.
2. Metode pengukuran temperatur udara, kecepatan angin, dan kelembaban udara pada titik yang sudah ditentukan seharusnya dilakukan secara serentak (*real time*) pada waktu yang sama, sehingga pada saat dilakukan pengukuran, titik-titik memiliki kondisi yang sama. Namun karena keterbatasan alat ukur, pengukuran tiap titik dalam ruang dilakukan secara bergantian antara titik yang satu dengan yang lainnya. Karena terdapat perbedaan waktu pengukuran antar titik, maka kondisi antar titik saat dilakukan penelitian berbeda

K. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka beberapa saran yang diberikan oleh Peneliti untuk dipertimbangkan adalah:

1. Bagi Pihak Sekolah

- a. Menamengganti tipe jendela sisi selatan menjadi casement side hung, agar aliran udara yang masuk lebih baik.

- b. Dikarenakan pukul 08.00 sampai pukul 14.00 temperatur udara di ruangan meningkat, dianjurkan pada jam sekian kipas angin dinyalakan.

2. Bagi Peneliti Selanjutnya

Para peneliti dan pengembang berikutnya diharapkan mampu mengukur kenyamanan termal yang dirasakan siswa di dalam ruangan dengan metode yang lebih kompleks. Kenyamanan termal yang dirasakan siswa di dalam ruang berkaitan dengan persepsi, sehingga kenyamanan yang dirasakan antar siswa berbeda, maka saran untuk penelitian selanjutnya perlu diteliti mengenai persepsi siswa di dalam ruang menggunakan angket atau kuisioner.

DAFTAR PUSTAKA

- Dedikbud.(1999). *Kurikulum Sekolah Menengah Kejuruan 1999 Bidang Keahlian Teknik Bangunan*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Depdiknas.(1999). *Perawatan Preventif Sarana dan Prasarana Pendidikan*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- Lipsmeir, Georg. (2004). *Bangunan Tropis*. Jakarta: Erlangga.
- Satwiko, Prasasto. (2004) *Fisika Bangunan 2*. Yogyakarta; Andi.
- _____. (2004) *Fisika Bangunan 1*. Yogyakarta; Andi.
- Sugiyono.(2008). *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: CV. Alfabeta.
- Tilaar, HAR. (2000). Beberapa *Agenda Reformasi Pendidikan Nasional*. Magelang: Tera Indonesia
- Nanda Jalu. 2009. *Kajian terhadap Kenyamanan Termaldi Ruang Bengkel Kayu Jurusan Bangunan SMK 2 Depok Sleman*. Skripsi. Yogyakarta.
- Soegijanto.1999. Bangunan di Indonesia dengan Iklim Tropis Ditinjau dari Aspek Fisika Bangunan. Bandung: UPT Institut Teknologi Bandung.
- Y.B. Mangunwijaya. 1994. *Fisika Bangunan*, Jakarta: Djambatan.
- Ahmadi, Abu (2003) *Psikologi Umum*. Jakarta: Rineka Citra.
- Ahmadi.(2005). *Ilmu Pendidikan Islam*. Jakarta: Lembaga Pendidikan Umat.
- American Society of Heating. (1999). *Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, ASHRAE: HVAC Applications.
- Kusmoro.(2008). *Pengaruh Model PAKEM dengan Pendekatan Konstruktivis medan Cooperative Learning dalam Pembelajaran Sains ditinjau dari Lingkungan Belajar Siswa*.

Makmun, A. (2003). *Psikologi Kependidikan*. Bandung:RemadjaRosdakarya Offset.

PeraturanPemerintah. (2005). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 19 Tahun 2005 Tentang Standar Nasional Pendidikan*.

PeraturanMenteriPendidikanNasional, (2007).*Standar Sarana dan Prasarana Untuk Sekolah Dasar/ Madrasah Ibtidaiyah (SMP/MTs), dan Sekolah Menengah Atas/ Madrasah Aliyah (SMA/MA) Nomor: Permen-24/2007/28 Juni 2007.*

Peraturan Menteri Pendidikan Nasional.(2008). *Standar Saranadan Prasarana Sekolah Menengah Kejuruan/ Madrasah Aliyah Kejuruan (SMK/MAK)Nomor 40 Tahun 2008/31 Juli 2008*. Jakarta: MenteriPendidikanNasional.